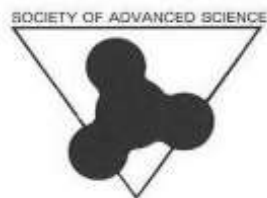


*31<sup>st</sup>*  
*2019 SAS Symposium*

***ABSTRACTS***



日時：2019 年 11 月 14 日(木) 11:00～16:00

15 日(金) 9:30～12:00

場所：東海大学湘南キャンパス 17 号館 2 階 ネクサスホール

主催：SAS (Society of Advanced Science)

後援：東海大学

# 31<sup>st</sup> 2019 SAS シンポジウム アブストラクト正誤表

| 頁等     | 誤                                                                                                                                                                                            | 正                                                                                                                                                                                                                     |
|--------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| p. I   | 11/14(木)<br>発表領域：<br>A, B, E1～E12, F5～F9, G, H                                                                                                                                               | 発表領域の変更<br><br>11/14(木)<br>発表領域：<br>A, B, E1～E12, F5～F9, <u>G1～G7, G9～G11</u> , H                                                                                                                                     |
| p. I   | 11/15(金)<br>発表領域：<br>C, D, F1～F4, F10～F17, E13                                                                                                                                               | 発表領域の変更<br><br>11/15(金)<br>発表領域：<br>C, D, F1～F4, F10～F17, E13, <u>G8</u>                                                                                                                                              |
| p. IX  | <u>F-3</u> 深層学習によるチェッカーフラグ SSVEP の状態分類<br>*圓城寺純矢（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、C. インオン（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、山本直哉（東海大学工学部医用生体工学科）、安芸史崇（東海大学工学部医用生体工学科）、木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、**山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科） | 著者名の表記変更<br><br><u>F-3</u> 深層学習によるチェッカーフラグ SSVEP の状態分類<br>*圓城寺純矢（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、C. インオン（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、 <u>山本尚哉</u> （東海大学工学部医用生体工学科）、安芸史崇（東海大学工学部医用生体工学科）、木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、**山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科） |
| p. XII | 11/14(木)<br><u>H-8</u> ハイブリッド励磁形同期機駆動用インバータの駆動方式に関する研究                                                                                                                                       | 発表日の変更<br><br><u>11/15(金)</u><br><u>H-8</u> ハイブリッド励磁形同期機駆動用インバータの駆動方式に関する研究                                                                                                                                           |
| P. 28  | <u>A-28</u> Al-50at%Li 金属間化合物の作製及び評価<br>*山本卓（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）                                                                                                          | 概要原稿なし                                                                                                                                                                                                                |
| p. 29  | <u>A-29</u> メカニカルアロイング法で作製した W-Cr 合金の仕事関数測定<br>*加藤謙太郎（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）                                                                                                 | 取り下げ                                                                                                                                                                                                                  |

|       |                                                                                            |        |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| p. 30 | <b>A-30</b> メカニカルアロイング法で作製した Cr-W 合金の耐酸化性<br>*廣野由佳（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）  | 概要原稿なし |
| p. 31 | <b>A-31</b> メカノケミカル反応を活用したスクラップゲルマニウムの再資源化<br>*佐藤竜也（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科） | 取り下げ   |
| p. 56 | <b>D-1</b> 雷の原理に関する理科教材の開発<br>*山本 卓（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）                 | 取り下げ   |
| p. 57 | <b>D-2</b> スキャニメーション利用した教材nにおける図形サイズの最適化<br>*吉田勇太（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）   | 概要原稿なし |
| p. 58 | <b>D-3</b> 放電現象と音の関係について考える教材<br>*戸嶋 一仁（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）             | 取り下げ   |
| p. 59 | <b>D-4</b> GPSとペットボトルロケットを利用した教材開発<br>*清水雄太（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）         | 概要原稿なし |

|        |                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| p. 60  | <p><b>D-5 振動発電を利用した力学・電磁気学に関する教材開発</b></p> <p>*井手将翔（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）</p>                                                                                                          | 概要原稿なし                                                                                                                                                                                                                         |
| p. 76  | <p><b>F-3 深層学習によるチェッカーフラグ SSVEP の状態分類</b></p> <p>*圓城寺純矢（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、C. インオン（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、山本直哉（東海大学工学部医用生体工学科）、安芸史崇（東海大学工学部医用生体工学科）、木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、**山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）</p> | <p>著者名の表記変更</p> <p><b>F-3 深層学習によるチェッカーフラグ SSVEP の状態分類</b></p> <p>*圓城寺純矢（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、C. インオン（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、<u>山本尚哉</u>（東海大学工学部医用生体工学科）、安芸史崇（東海大学工学部医用生体工学科）、木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、**山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）</p> |
| p. 99  | <p><b>G-9 Cu-Al-O 透明半導体薄膜の作製</b></p> <p>*下田大空（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）</p>                                                                                                                | 概要原稿なし                                                                                                                                                                                                                         |
| p. 100 | <p><b>G-10 ガスクロミック反応を用いた Wox 水素センサの作製</b></p> <p>*那須琴美（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）</p>                                                                                                       | 概要原稿なし                                                                                                                                                                                                                         |
| p. 101 | <p><b>G-11 蒸着重合による g - C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 薄膜の作製と評価</b></p> <p>*小池まりな（東海大学教養学部人間環境学科）、**小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）</p>                                                                                 | 取り下げ                                                                                                                                                                                                                           |



## 31<sup>st</sup> 2019 SAS Symposium スケジュール

| 11 月 14 日(木)        |                                                                                                                                                                                                   | 11 月 15 日(金)        |                                                                              |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| 10:00               | 開場<br>受付開始<br>ポスター掲示<br>ショートプレゼンテーションのデータ提出<br>※必ずウイルスチェックを行ってください                                                                                                                                | 9:00                | 受付開始                                                                         |
| 11:00               | シンポジウム開会式<br>※参加者の方ではできるだけご出席下さい                                                                                                                                                                  | 9:30<br>～<br>10:30  | ショートプレゼンテーション開始<br><br>発表領域：<br>C, D, F1~F4, F10~F17, E13                    |
| 11:15<br>～<br>14:00 | ショートプレゼンテーション開始<br><br>発表領域：<br>A, B, E1~E12, F5~F9, G, H<br>発表時間の目安：<br>A 11:15～<br>B 12:20～<br>E 13:00～<br>F 13:20～ (F5~F9)<br>G 13:30～<br>H 13:55～<br><br>※時間はあくまで目安です。発表目安の 15 分前までには待機して下さい。 | 10:30<br>～<br>11:30 | ポスター発表開始<br><br>発表領域：<br>C, D, F1~F4, F10~F17, E13                           |
|                     |                                                                                                                                                                                                   | 11:30<br>～<br>12:00 | 第 2 日目 終了<br>シンポジウム閉会式<br>※参加者の方ではできるだけご出席下さい<br><br>閉会式終了次第、ポスターおよび展示物の撤収作業 |
|                     |                                                                                                                                                                                                   |                     | * * 休憩 * *                                                                   |
|                     |                                                                                                                                                                                                   | 14:00<br>～<br>15:45 | SAS 設立 30 周年記念講演会                                                            |
| 14:00<br>～<br>16:00 | ポスター発表開始<br><br>発表領域：<br>A, B, E1~E12, F5~F9, G, H<br>コアタイム：<br>14:00-15:00 カテゴリ No. 偶数<br>15:00-16:00 カテゴリ No. 奇数<br><br>*上記の時間帯は、各自のポスター前に待機して下さい。                                              |                     |                                                                              |
| 16:00               | 第 1 日目 終了                                                                                                                                                                                         |                     |                                                                              |

※ポスター掲示およびデータの提出は、発表日に関わらず 14 日(木)11:00 までに行ってください。

※ポスターは発表日に関わらず 2 日間掲示してください。遠方からの来場や授業等でご都合の悪い場合等は、あらかじめご相談いただければご対応いたします(ご希望に添えない場合がありますのでその際はご容赦ください)。

お問合せは、E-mail [symposium@sas-jas.gr.jp](mailto:symposium@sas-jas.gr.jp) もしくは [sasinfo@sas-jas.gr.jp](mailto:sasinfo@sas-jas.gr.jp) まで

## ＜31<sup>st</sup> 2019 SAS シンポジウム実行委員会組織＞

|         |             |                           |
|---------|-------------|---------------------------|
| 実行委員長   | 庄 善之        | 東海大学 工学部 電気電子工学科          |
| 現地運営委員長 | 松村 義人       | 東海大学 工学部 原子力工学科           |
| 実行委員    | 天野 忠昭       | SAS テクニカルセンター             |
|         | 伊藤 健朗       | 日本ベルパーツ株式会社               |
|         | 岩瀬 満雄       | SAS 事務局                   |
|         | 内田 晴久       | 東海大学 教養学部 人間環境学科          |
|         | 内田 ヘルムート 貴大 | 東海大学 工学部 精密工学科            |
|         | 大塚 隆生       | 第一熱処理工業株式会社               |
|         | 岡田 工        | 東海大学 チャレンジセンター            |
|         | 小栗 和也       | 東海大学 教養学部 人間環境学科          |
|         | 落合 成行       | 東海大学 工学部 機械工学科            |
|         | 武田 康秀       | 株式会社極東窒化研究所               |
|         | 川名 優孝       | 東京海洋大学 産学・地域連携推進機構 越中島カリエ |
|         | 神田 輝一       | 関東冶金工業株式会社 技術開発室          |
|         | 神田 昌枝       | 中部大学 工学部 宇宙航空理工学科         |
|         | 木村 誠        | 岳石電気株式会社 技術開発部            |
|         | 源馬 龍太       | 東海大学 工学部 材料科学科            |
|         | 渋谷 猛久       | 東海大学 工学部 光・画像工学科          |
|         | 庄 善之        | 東海大学 工学部 電気電子工学科          |
|         | 新屋敷 直木      | 東海大学 理学部 物理学科             |
|         | 利根川 昭       | 東海大学 理学部 物理学科             |
|         | 富田 恒之       | 東海大学 理学部化学科               |
|         | 西 義武        | 東海大学名誉教授                  |
|         | 安森 偉郎       | 東海大学 教育研究所                |
|         | 山田 豊        | 東海大学名誉教授/SAS 理事長          |
|         | 若木 守明       | 東海大学名誉教授                  |
|         | 渡部 貴史       | 日鍛バルブ株式会社                 |

(五十音順、敬称略)

## <31<sup>st</sup> 2019 SAS シンポジウム 題目一覧>

会期 2019年11月14日 11:00~16:00、15日 10:00~12:00

会場 東海大学湘南キャンパス 17号館 2階 ネクサスホール

\*発表者 \*\*指導教員

### A: 材料工学 (ナノテク、有機・高分子含む)

- 11/14(木) A-1 **Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材への Mo 添加効果**  
\*肥村康治 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、永澤諒紀 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*小黑英俊 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-2 **高温超伝導体 REBCO の溶融成長条件の検討と観察**  
\*小澤優一朗 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、小島寛航 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*小黑英俊 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-3 **炭素繊維強化性熱可塑性ポリプロピレンへの電子線照射の影響**  
\*竹田圭佑 (東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、木村英樹 (東海大学工学部電気電子工学科)、三浦栄一 (東海大学工学部精密工学科)、内田ヘルムート貴大 (東海大学工学部精密工学科)、\*\*西義武 (東海大学工学部材料工学科)
- 11/14(木) A-4 **CNT 自立膜上に Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 系を電解めっきした複合自立膜の作製・評価**  
\*江口陸生 (東海大学工学部材料科学科)、山口将輝 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*高尻雅之 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-5 **CNT とゴム複合による伸縮性自立型熱電素子の作製**  
\*千葉知志 (東海大学工学部材料科学科)、\*関侑平 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*高尻雅之 (東海大学材料科学科)
- 11/14(木) A-6 **Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの結晶成長と形態変化**  
\*山崎秀夫 (東海大学工学部材料科学科)、矢吹隼人 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*高尻雅之 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-7 **熱 CVD 法における金属触媒膜厚が CNT 膜組織に与える影響の検討**  
\*加藤裕一 (東海大学工学部材料科学科)、小久保良亮 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*葛巻徹 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-8 **C<sub>60</sub>を固体炭素源とするグラフェンの形成**  
\*宮本かおり (東海大学工学部材料科学科)、和田有里 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、山田貴壽 (産業技術総合研究所)、\*\*葛巻徹 (東海大学工学部材料科学科、東海大学大学院応用理化学専攻)
- 11/14(木) A-10 **Ni 系箔状ろう材によるステンレス鋼ろう付組織が耐食性に及ぼす影響**  
\*林裕司、長田洸 (東海大学工学部材料科学科)、大野真沙 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮沢靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-11 **Ag ろうによるステンレス鋼ろう付時の界面反応**  
\*山口純平、上原由佳子 (東海大学工学部材料科学科)、三輪弘樹 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮沢靖幸 (東海大学工学部材料科学科)

- 11/14(木) A-12 **ステンレス鋼ろう付時の Ag ろうへの元素添加効果**  
\*上原由佳子 (東海大学工学部材料科学科)、三輪弘樹 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、山口純平 (東海大学工学部材料科学科)、\*\*宮澤靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-13 **フラックス塗布量が銅合金ろう付時のボイド形成に与える影響**  
\*三浦弘量 (東海大学工学部材料科学科)、岡田博樹 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮澤靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-14 **Ni 系ペーストろう材ろう付時のボイド発生メカニズム**  
\*酒井真菜 (東海大学工学部材料科学科)、佐々木達也 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮沢靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-15 **ステンレス鋼ろう付体の耐食性評価とその妥当性**  
\*長田洸、林裕司 (東海大学工学部材料科学科)、大野真沙 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮沢靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-16 **はんだ付のその場観察による接合欠陥の低減**  
\*中村優太 (東海大学工学部材料科学科)、田嶋晃 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮沢靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-17 **カーボン・カーボン複合材料と金属材料のろう付時の界面反応現象**  
\*山崎詩音、戸田宏輝 (東海大学工学部材料科学科)、内堀宗民 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮沢靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-18 **C/C コンポジットと SUS304 のろう付体の評価**  
\*戸田宏輝、山崎詩音 (東海大学工学部材料科学科)、内堀宗民 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮沢靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-19 **Al/Cu ろう付部界面組織の基礎的解析**  
\*丸木真吾 (東海大学工学部材料科学科)、佐藤穂波 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮沢靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-20 **接合後熱処理による Ag ナノ粒子焼結接合層の変化**  
\*長谷川俊喜 (東海大学工学部材料科学科)、工藤勝裕 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*宮沢靖幸 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-21 **LaNi<sub>5</sub> と CO<sub>2</sub> の反応性**  
\*森木翔平 (東海大学工学部材料科学科)、\*\*源馬龍太 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-22 **スパッタリング法により作製した Mg-Pd 合金膜上における CO<sub>2</sub> のメタン化反応の検討**  
\*西海涼青 (東海大学工学部材料科学科)、\*\*源馬龍太 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) A-23 **液中プラズマ法を用いたナノカーボンの作製および燃料電池触媒への応用**  
\*今井亮太 (東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*庄善之 (東海大学工学部電気電子工学科)
- 11/14(木) A-24 **液中プラズマ法を用いた燃料電池用 Pt 触媒の作製**  
\*松下友也 (東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*庄善之 (東海大学工学部電気電子工学科)

- 11/14(木) A-25 **冷間加工されたタングステン板中の組織と欠陥に関する研究**  
 \*山根諒也（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、滝本壽来生（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、金子新（東海大学理学部物理学科）、\*\*内田ヘルムート貴大（東海大学工学部精密工学科）、利根川昭（東海大学理学部物理学科）
- 11/14(木) A-26 **Cu-Ti 系薄膜組織の微細化に関する研究**  
 \*鎌田健聖（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、荒井伸亮（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、松村義人（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、\*\*内田ヘルムート貴大（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）
- 11/14(木) A-27 **水素を用いた純チタン中の欠陥評価**  
 \*尾高弘紀（東海大学大学院工学研究科）、常盤蓮（東海大学大学院工学研究科）、金子新（東海大学理学部物理学科）、瀧本壽来正（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、利根川昭（東海大学大学院理学研究科）、\*\*内田ヘルムート貴大（東海大学大学院工学研究科）
- 11/14(木) A-28 **Al-50at%Li 金属間化合物の作製及び評価**  
 \*山本卓（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）
- 11/14(木) A-29 **メカニカルアロイング法で作製した W-Cr 合金の仕事関数測定**  
 \*加藤謙太郎（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）
- 11/14(木) A-30 **メカニカルアロイング法で作製した Cr-W 合金の耐酸化性**  
 \*廣野由佳（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）
- 11/14(木) A-31 **メカノケミカル反応を活用したスクラップゲルマニウムの再資源化**  
 \*佐藤竜也（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）

## B: 自然・環境エネルギー

- 11/14(木) B-1 **スパッターにより形成した TiO<sub>2</sub> 薄膜の結晶シリコン太陽電池 n 型エミッターへの応用**  
 \*篠崎貴紀（東海大学工学部電気電子工学科）、\*\*磯村雅夫（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) B-2 **Development of flexible perovskite solar cell by a low-temperature fabrication of TiO<sub>2</sub> electron transport layer**  
 \*Nnadi Arthur、\*Alshemeili Mohammed、Sem Visal、\*\*Tetsuya Kaneko、\*\*Masao Isomura (Course of Electrical and Electronic Engineering、Graduate school of Engineering、Tokai Univ.)、Md. Shahiduzzaman、Tetsuhiro Katsumata、Koji Tomita (Course of Chemistry、Graduate school of Science、Tokai Univ.)
- 11/14(木) B-3 **太陽光発電システムにおける需要対応型 MPPT 制御の開発**  
 \*大貫靖一郎（神奈川工科大学電気電子情報工学科）、志賀智至（神奈川工科大学電気電子情報工学科）、遠藤琢磨（神奈川工科大学電気電子情報工学科）、竹田雄亮（神奈川工科大学大学院工学研究科）、\*\*板子一隆（神奈川工科大学大学院工学研究科）
- 11/14(木) B-4 **ニューラルネットワークによる高効率単相整流回路**  
 \*藤井陸（神奈川工科大学電気電子情報工学科）、\*本多匠（神奈川工科大学電気電子情報工学科）、\*\*板子一隆（神奈川工科大学大学院工学研究科）
- 11/14(木) B-5 **AIによる太陽光発電システムのホットスポット診断の検討**  
 \*Alhabib Ali（神奈川工科大学電気電子情報工学科）、\*\*板子一隆（神奈川工科大学大学院工学研究科）

- 11/14(木) B-6 **燃料電池発電システムにおける高効率制御の検討**  
 \* Sumon (神奈川工科大学大学院工学研究科)、Muhammad Adib (神奈川工科大学電気電子情報工学科)、Muhammad Anuar (神奈川工科大学電気電子情報工学科)、Mastura (神奈川工科大学電気電子情報工学科)、\*\*板子一隆 (神奈川工科大学大学院工学研究科)
- 11/14(木) B-7 **アクティブPVアレイの効果の検討**  
 \*竹田雄亮 (神奈川工科大学電気電子情報工学科)、佐藤巧 (神奈川工科大学電気電子情報工学科)、傳刀聖 (神奈川工科大学電気電子情報工学科)、\*\*板子一隆 (神奈川工科大学電気電子情報工学科)
- 11/14(木) B-8 **磁界共振型非接触電力伝送の実験的検討**  
 \*高田泰成 (東海大学工学部電気電子工学科)、谷本浩太郎 (東海大学工学部電気電子工学科)、坂元昂平 (東海大学工学部電気電子工学科)、加藤颯 (東海大学工学部電気電子工学科)、小林優太 (東海大学工学部電気電子工学科)、\*\*稲森真美子 (東海大学工学部電気電子工学科)
- 11/14(木) B-9 **振動型ボールミルを用いた  $\text{LaNi}_5$  による  $\text{CO}_2$  メタン化反応のモニタリング**  
 \*澤原馨登 (東海大学工学部材料科学科)、\*\*源馬龍太 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) B-10 **Ge 粉末を用いたボールミリング法による水分解**  
 \*芝野寛了 (東海大学工学部材料科学科)、小栗和也 (東海大学教養学部人間環境学科自然環境課程)、\*\*源馬龍太 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) B-11 **スパッタリング法により作製した  $\text{La-Ni}$  系合金薄膜上における  $\text{CO}_2$  メタン化反応の検討**  
 林諄真 (東海大学工学部材料科学科)、中廣駿太郎 (東海大学工学部材料科学科)、\*\*源馬龍太 (東海大学工学部材料科学科)
- 11/14(木) B-12 **酵素式血糖エネルギー駆動と高分子接合技術を融合した薬物放出システムに関する研究**  
 \*馬一博、栗原康司 (東京医科歯科大学歯学総合研究科)、當麻浩司、荒川貴博、\*\*三林浩二 (東京医科歯科大学学生体材料工学研究所)

## C: 機械工学

- 11/15(金) C-1 **車輪移動型ロボットのための速度ベースメカニカル安全ブレーキの開発(設計及び動作確認実験)**  
 \*佐藤喜昭 (東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、遠藤嘉康 (東海大学工学部機械工学科)、三島弘希 (東海大学工学部機械工学科)、\*\*甲斐義弘 (東海大学工学部機械工学科)
- 11/15(金) C-2 **小型水素ロータリーエンジンの制御性向上に向けた燃料噴射時間の変更**  
 \*里川翔一 (東海大学工学部機械工学科)、\*\*神崎昌郎 (東海大学工学部機械工学科)
- 11/15(金) C-3 **円管内部における流動解析と流動可視化の比較による数値解析手法の確立**  
 \*鈴木僚 (東海大学工学部機械工学科)、\*\*神崎昌郎 (東海大学工学部機械工学科)
- 11/15(金) C-4 **ドリリングロボットによる切削加工の優位性評価**  
 \*細谷匠 (東海大学工学部機械工学科)、武井雛太 (東海大学工学部機械工学科)、村山省己 (TSF 自動化研究所)、金子一彦、瀬戸幸治 (三宝精機工業株式会社)、鈴木利幸 (ちよだ工機株式会社)、\*\*神崎昌郎 (東海大学工学部機械工学科)
- 11/15(金) C-5 **摩擦係数 0.01 を示す潤滑性硬質膜のホウ素過剰添加による使用可能温度拡大**  
 \*大和航 (東海大学工学部機械工学科)、\*\*神崎昌郎 (東海大学工学部機械工学科)

- 11/15(金) C-6 **超音波振動によるネジ緩み検査システムの高精度化に向けた影響度調査**  
\*川崎春久（東海大学工学部機械工学科）、村山省己（TSF 自動化研究所）、\*\*神崎昌郎（東海大学工学部機械工学科）
- 11/15(金) C-7 **切削加工における加工条件最適化へのニューラルネットワーク適用の提案**  
\*フロン マキシム（東海大学工学部機械工学科）、胡シン（東海大学工学部機械工学科）、松本敏幸（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、青木俊（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、村山省己（TSF 自動化研究所）、\*\*神崎昌郎（東海大学工学部機械工学科）
- 11/15(金) C-8 **ジャイロモノレールの車体安定性に関する研究**  
\*天谷知司（東海大学工学部精密工学科）、\*\*土屋寛太郎（東海大学工学部精密工学科）
- 11/15(金) C-9 **鉄道シミュレーションを用いた走行安定性に関する研究**  
\*小泉隆一（東海大学工学部精密工学科）、天谷知司（東海大学工学部精密工学科）、鈴木大貴（東海大学工学部精密工学科）、\*\*土屋寛太郎（東海大学工学部精密工学科）
- 11/15(金) C-10 **鉄道シミュレーションを用いた脱線に関する研究**  
\*鈴木大貴（東海大学工学部精密工学科）、\*\*土屋寛太郎（東海大学工学部精密工学科）
- 11/15(金) C-11 **共振現象における圧電振動発電(圧電材料の寸法変化)**  
\*落合凌也（東海大学工学部精密工学科）、安達友美（東海大学工学部精密工学科）、原駿介（東海大学工学部精密工学科）、\*\*土屋寛太郎（東海大学工学部精密工学科）、森山裕幸（東海大学工学部動力機械工学科）
- 11/15(金) C-12 **共振現象における圧電振動発電(振動材料の寸法変化)**  
\*原駿介（東海大学工学部精密工学科）、落合凌也（東海大学工学部精密工学科）、安達友美（東海大学工学部精密工学科）、\*\*土屋寛太郎（東海大学工学部精密工学科）、森山裕幸（東海大学工学部動力機械工学科）

#### **D：教育・基礎科学**

- 11/15(金) D-1 **光の糸電話を用いたグラスハープの振動・共振メカニズムの調査**  
\*小布施駿斗（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）
- 11/15(金) D-2 **スキャニメーション利用した教材 n における図形サイズの最適化**  
\*吉田勇太（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）
- 11/15(金) D-3 **放電現象と音の関係について考える教材**  
\*戸嶋一仁（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）
- 11/15(金) D-4 **GPS とペットボトルロケットを利用した教材開発**  
\*清水雄太（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）
- 11/15(金) D-5 **振動発電を利用した力学・電磁気学に関する教材開発**  
\*井手将翔（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）

#### **E：光・プラズマ理工学**

- 11/14(木) E-1 **大気圧プラズマジェット照射によるローダミン 6G 水溶液の脱色**  
\*中山健吾、福井大樹、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）、小田慶喜（東海大学技術共同管理室）

- 11/14(木) E-2 **大気圧プラズマジェット照射による  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  薄膜の熱電特性の向上**  
\*佐藤光太、河野達夢、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）、小林晃大、高尻雅之（東海大学工学部材料科学科）
- 11/14(木) E-3 **プラズマ照射水によるスプラウトの再成長の促進**  
\*佐藤悠介、古谷晃平、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) E-4 **大気圧プラズマジェット照射によるモルタルの強度の向上**  
\*小川嵩太、藤元裕也、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）、富田恒之（東海大学理学部化学科）
- 11/14(木) E-5 **大気圧プラズマジェット照射によるトリアリールメタン系染料の脱色**  
\*藤塚直貴、星祐斗、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）、外山友貴、笠井哲郎（東海大学工学部土木工学科）、小田慶喜（東海大学技術共同管理室）
- 11/14(木) E-6 **プラズマ中成膜における薄膜の内部応力制御**  
\*荒井伸亮（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、鎌田健聖（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、秋元翼（東海大学工学部原子力工学科）、内田ヘルムート貴大（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、\*\*松村義人（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）
- 11/14(木) E-7 **酵素カスケード反応とバイオ蛍光技術を用いたメタノールガス用バイোসニファ**  
\*前野夕紀、岩崎芳菜子（東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科）、當麻浩司、荒川貴博、\*\*三林浩二（東京医科歯科大学学生体材料工学研究所）
- 11/14(木) E-8 **気相用バイオセンサとガス濃縮装置を融合したエタノールガス用高感度計測システム**  
\*石川力、青田崇志（東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科）、當麻浩司、荒川貴博、\*\*三林浩二（東京医科歯科大学学生体材料工学研究所）
- 11/14(木) E-9 **非接触重水素プラズマ照射によるタングステン表面への影響**  
\*豊島誠也（東海大学理学部物理学科）、瀧本壽来生（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、金子新（東海大学理学部物理学科）、\*\*利根川昭（東海大学理学部物理学科）、松村義人（東海大学工学部原子力工学科）
- 11/14(木) E-10 **大電流化に向けたシートプラズマ型負イオン源からのビーム引き出しの評価**  
\*神永啓希（東海大学理学部物理学科）、花井啓利（東海大学理学研究科物理学専攻）、瀧本壽来生（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、\*\*利根川昭（東海大学理学部物理学科）、河村和孝（東海大学）、佐藤浩之助（東京理科大学・中部電力）
- 11/14(木) E-11 **オーロラ揺動の解明に向けたシートプラズマにおける基礎実験**  
\*宮松寛明（東海大学理学部物理学科）、瀧本壽来生（東海大学大学院理学研究科物理学専攻）、\*\*利根川昭（東海大学理学部物理学科）、河村和孝（東海大学）、佐藤浩之助（東京理科大学・中部電力）
- 11/14(木) E-12 **非接触プラズマを照射したタングステンの重水素吸蔵・透過特性**  
\*金子新（東海大学理学部物理学科）、瀧本壽来生（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、\*\*利根川昭（東海大学理学部物理学科）、松村義人（東海大学工学部原子力工学科）、河村和孝（東海大学）、佐藤浩之助（東京理科大学・中部電力）
- 11/15(金) E-13 **シートプラズマ型負イオン源における水素分子の振動温度と負イオン密度の特性**  
\*花井啓利（東海大学大学院理学研究科物理学専攻）、瀧本壽来生（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、神永啓希（東海大学理学部物理学科）、\*\*利根川昭（東海大学理学部物理学科）、佐藤浩之助（東京理科大学・中部電力）、河村和孝（東海大学）



## F: 生命・生体理工学

- 11/15(金) F-1 **深層学習による脳波状態測定における入力データ形式について**  
\*山本尚哉（東海大学工学部医用生体工学科）、圓城寺純矢（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、C.インオン（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、安藝史崇（東海大学工学部医用生体工学科）、木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、\*\*山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）
- 11/15(金) F-2 **昼食後短時間睡眠が午後の認知機能に及ぼす効果**  
\*池ノ谷聡星（東海大学工学部医用生体工学科）、篠塚拓也（東海大学工学部医用生体工学科）、安藝史崇（東海大学工学部医用生体工学科）、\*\*山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）
- 11/15(金) F-3 **深層学習によるチェッカーフラグ SSVEP の状態分類**  
\*圓城寺純矢（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、C.インオン（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、山本直哉（東海大学工学部医用生体工学科）、安藝史崇（東海大学工学部医用生体工学科）、木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、\*\*山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）
- 11/15(金) F-4 **脳波による電動義手制御を目的とした画像想起時脳波の深層学習**  
\*郡家知之（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、\*\*影山芳之（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）
- 11/14(木) F-5 **酵素逆反応とバイオ蛍光を用いたアセトアルデヒド用ガス可視化装置と生体ガス計測応用**  
\*鈴木美華、飯谷健太（東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科）、當麻浩司、荒川貴博、\*\*三林浩二（東京医科歯科大学生体材料工学研究所）
- 11/14(木) F-6 **酵素式沈殿による出力増幅法を用いたダニアレルゲン Der f 2 用 SAW 免疫センサ**  
\*板倉舞（東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科）、加藤実里、倉田香菜子、金森きよ子（文京学院大学保健医療科学研究科）、吉村直之、谷津田博美（日本無線株式会社）、當麻浩司、荒川貴博、\*\*三林浩二（東京医科歯科大学生体材料工学研究所）
- 11/14(木) F-7 **pH 酵素反応制御による2成分計測可能なバイオ蛍光式ガスセンサと呼吸計測応用**  
\*石月尚宏、辻井誠人（東京医科歯科大学大学院）、當麻浩司、荒川貴博、\*\*三林浩二（東京医科歯科大学生体材料工学研究所）
- 11/14(木) F-8 **バイオ蛍光式探嗅カメラを用いた生体由来エタノールガスの可視化計測に関する研究**  
\*黄砥、佐藤敏征（東京医科歯科大学大学院医歯学総合研究科）、飯谷健太、當麻浩司、荒川貴博、\*\*三林浩二（東京医科歯科大学生体材料工学研究所）
- 11/14(木) F-9 **咬合圧による外部機器操作を目的とした BLE マウスガード型デバイスに関する研究**  
\*稲毛崇之、戸本佳佑（東京医科歯科大学医歯学総合研究科）、横田くみ、當麻浩司、荒川貴博、\*\*三林浩二（東京医科歯科大学生体材料工学研究所）
- 11/15(金) F-10 **BCI 利用に向けた SSVEP の特性の検討**  
\*大幸薫子（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、河内悠夏（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）、\*\*木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）
- 11/15(金) F-11 **スイゼンジノリ養殖と食と健康にまつわる実用化**  
\*船田彩香（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、河内悠夏（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、大幸薫子（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、\*\*木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、福崎稔（東海大学九州教養教育センター）

- 11/15(金) F-12 **難易度の異なる言語課題遂行時の脳血流の検討**  
\*庭野翔（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）、\*\*木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）
- 11/15(金) F-13 **精神性ストレス負荷時における複数の指標を用いた自律神経系評価**  
\*澤見真由（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、菅野佳鈴（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、西田彩華（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）、\*\*木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）
- 11/15(金) F-14 **ポリマー中の水の運動性と血液適合性について**  
\*齋藤晴世、\*\*望月明（東海大学工学部医用生体工学科）
- 11/15(金) F-15 **ポリブチルアクリレート分子量と血液適合性の関係について**  
\*石井絢美、\*\*望月明（東海大学工学部医用生体工学科）
- 11/15(金) F-16 **液状ポリエステル血液適合性について**  
\*中島洋、\*\*望月明（東海大学工学部医用生体工学科）
- 11/15(金) F-17 **カルボキシ基を有するプルラン誘導体の血液適合性について**  
\*高倉良太、\*\*望月明（東海大学工学部医用生体工学科）

#### **G: 薄膜・表面物性工学**

- 11/14(木) G-1 **ヨウ素溶液でのヨウ素化によるヨウ化銅薄膜の特性変化**  
\*畑由鶴、磯村雅夫、\*\*金子哲也（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) G-2 **窒化銅薄膜成膜時のターゲット基板間距離が膜特性に与える影響**  
\*佐藤祐希（東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻）、畑由鶴（東海大学工学部電気電子工学科）、磯村雅夫（東海大学工学部電気電子工学科）、\*\*金子哲也（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) G-3 **電気化学的水素添加による Ti 薄膜の面内応力の検討**  
山口健吾（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、神谷証人（東海大学工学部原子力工学科）、金子莉久（東海大学工学部原子力工学科）、秋山拓紀（東海大学工学部原子力工学科）、井上勝利（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、常盤蓮（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、片岡竜一（東海大学工学部原子力工学科）、源馬龍太（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、内田ヘルムート貴大（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、\*\*松村義人（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）
- 11/14(木) G-4 **水素添加した金属薄膜の面内応力に及ぼす膜厚の影響**  
\*山口健吾（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、常盤蓮（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、秋山拓紀（東海大学工学部原子力工学科）、神谷証人（東海大学工学部原子力工学科）、金子莉久（東海大学工学部原子力工学科）、石丸大地（東海大学工学部原子力工学科）、内田ヘルムート貴大（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、\*\*松村義人（東海大学工学部原子力工学科）
- 11/14(木) G-5 **Sm-Fe 薄膜の膜厚が内部応力に及ぼす影響**  
\*山口健吾（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、金子莉久（東海大学工学部原子力工学科）、神谷証人（東海大学工学部原子力工学科）、秋山拓紀（東海大学工学部原子力工学科）、\*\*松村義人（東海大学工学部原子力工学科）

- 11/14(木) G-6 **炭素繊維織布の電子線照射による物性変化に関する研究**  
\*三浦栄一（東海大学工学部精密工学科）、竹田圭佑（東海大学大学院工学研究科）、木村英樹（東海大学大学院工学研究科）、利根川昭（東海大学大学院理学研究科）、西義武（東海大学大学院工学研究科）、\*\*内田ヘルムート貴大（東海大学大学院工学研究科）
- 11/14(木) G-7 **振動発電素子向け磁歪薄膜材料の界面密着性に関する研究**  
\*大野聖海（東海大学工学部精密工学科）、常盤蓮（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、井上将利（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、山口健吾（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、松村義人（東海大学工学部原子力工学科）、\*\*内田ヘルムート貴大（東海大学工学部精密工学科）
- 11/14(木) G-8 **Sm-Fe 薄膜及びその酸化防止コーティング膜に対する水素処理の影響と基板からの応力に関する研究**  
\*常盤蓮（東海大学工学研究科機械工学専攻）、尾高弘紀（東海大学工学研究科機械工学専攻）、山口健吾（東海大学応用理化学専攻）、松村義人（東海大学工学部原子力工学科）、\*\*内田ヘルムート貴大（東海大学工学部精密工学科）
- 11/14(木) G-9 **Cu-Al-O 透明半導体薄膜の作製**  
\*下田大空（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）
- 11/14(木) G-10 **ガスクロミック反応を用いた Wox 水素センサの作製**  
\*那須琴美（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）
- 11/14(木) G-11 **蒸着重合によるg-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 薄膜の作製と評価**  
\*小池まりな（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）

## H: その他

- 11/14(木) H-1 **ギターの音色の電氣的分析**  
\*服部昴夏（神奈川工科大学電気電子情報工学科）、\*田中萩乃（神奈川工科大学電気電子情報工学科）、\*\*板子一隆（神奈川工科大学電気電子情報工学科）
- 11/14(木) H-2 **熱音響発電システムのループ管長の変化による発電動作への影響**  
\*安西龍一（東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻）、\*\*金子哲也（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) H-3 **広帯域誘電分光法による氷結状態のウシ血清アルブミン水溶液の分子運動**  
\*塚原達也（東海大学理学部物理学科）、小田切李沙（東海大学理学部物理学科）、藤井慎季（東海大学大学院理学研究科物理学専攻）、高塚将伸（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、佐々木海渡（国立研究開発法人物質材料研究機構）、喜多理王（東海大学理学部物理学科）、\*\*新屋敷直木（東海大学理学部物理学科）、八木原晋（東海大学理学部物理学科）
- 11/14(木) H-4 **誘電分光法による氷結したリゾチーム水溶液の分子ダイナミクス**  
\*小田切李沙（東海大学理学部物理学科）、塚原達也（東海大学理学部物理学科）、藤井慎季（東海大学大学院理学研究科物理学専攻）、高塚将伸（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、佐々木海渡（国立研究開発法人物質材料研究機構）、喜多理王（東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター、東海大学理学部物理学科）、\*\*新屋敷直木（東海大学理学部物理学科）、八木原晋（東海大学理学部物理学科）

- 11/14(木) H-5 **Poly(vinyl pyrrolidone)-propylene glycol 溶液の高分子とアルコールの誘電緩和**  
\*藤井慎季（東海大学大学院理学研究科物理学専攻）、萬代健太（東海大学大学院理学研究科物理学専攻）、高塚将伸（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、佐々木海渡（国立研究開発法人物質・材料研究機構）、喜多理王（東海大学理学部物理学科、東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター）、\*\*新屋敷直木（東海大学理学部物理学科）、八木原晋（東海大学理学部物理学科）
- 11/14(木) H-6 **PID 制御を適用した倒立振子の作製**  
\*小林蒼生（東海大学工学部電気電子工学科）、\*\*石丸将愛（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) H-7 **脱原発と環境問題を考慮した標準電力系統モデルの作成 —EAST30 と AGC30 の統合—**  
\*齋藤郁弥（東海大学工学部電気電子工学科）、\*\*石丸将愛（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) H-8 **ハイブリッド励磁形同期機駆動用インバータの駆動方式に関する研究**  
\*鈴木寛隆（東海大学工学部電気電子工学科）、平山武尚（東海大学工学部電気電子工学科）、ムハマド フィトリ ビンハナフィ（東海大学工学部電気電子工学科）、\*\*大口英樹（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) H-9 **ハイブリッド励磁形同期機駆動用インバータに関する研究**  
\*平山武尚（東海大学工学部電気電子工学科）、鈴木寛隆（東海大学工学部電気電子工学科）、ムハマドフィトリビンハナフィ（東海大学工学部電気電子工学科）、\*\*大口英樹（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) H-10 **永久磁石同期機の面内渦電流損に関する研究**  
\*川上光太郎（東海大学工学部電気電子工学科）、山本龍一（東海大学工学部電気電子工学科）、高橋英雄（東海大学工学部電気電子工学科）、井形駿太（東海大学工学部電気電子工学科）、\*\*大口英樹（東海大学工学部電気電子工学科）
- 11/14(木) H-11 **車両用パワートレインの高性能化に関する研究**  
\*福江祥充（東海大学工学部電気電子工学科）、長谷川勇也（東海大学工学部電気電子工学科）、八木翔平（東海大学工学部電気電子工学科）、矢作洸太（東海大学工学部電気電子工学科）、\*\*大口英樹（東海大学工学部電気電子工学科）

以上

## Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材への Mo 添加効果

\*肥村康治(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、永澤諒紀(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*小黒英俊(東海大学工学部材料科学科)

### 【緒言】

Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材は、実用超伝導線材として 10 T 以上の超伝導マグネットに利用されているが、わずかなひずみでも超伝導特性が劣化してしまう性質を持っている[1]。ところで、Nb<sub>3</sub>Sn への第 3 元素添加によって、その超伝導特性が大きく変わる事が知られている[2]。このことは、第 3 元素添加によって Nb<sub>3</sub>Sn 線材の超伝導特性に与えるひずみ効果を変える事ができる可能性を示唆している。

本研究では、Mo を添加した Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材を作製し、作製した線材内での Mo の拡散の様子や役割を調べることを目的とした。

### 【実験方法】

Nb<sub>3</sub>Sn 線材は、Powder in tube 法を用いて作製した。一方に蓋をした外径 8 mm、内径 5 mm の銅管に、外径 5 mm、内径 4 mm の Nb 管を挿入した。Sn と Cu と Mo の混合粉末を Nb 管に詰めた。Sn の量は Nb 管の体積から求めた Nb の mol 数に対し、Nb:Sn=3:1 とした。Mo は Sn 量に対して 1.0、0.2mol%として加えた。管の残りの体積分は Cu 粉末で補った。作製した線材は 670℃ x 100 h の熱処理を行なった。

添加元素の状態を調べるため、作製した線材に対して電子線マイクロアナライザ (EPMA) を用いて、線材断面の組成分析を行った。

### 【結果】

Fig. 1 に、無添加の Nb<sub>3</sub>Sn 線材と Mo を 0.2mol%、1.0mol%添加した Nb<sub>3</sub>Sn 線材の後方散乱電子像を示した。この画像から、Nb<sub>3</sub>Sn の生成量を評価すると、Mo の量が 0.2mol%のとき、観察できた Nb<sub>3</sub>Sn の肉厚の平均が 2 μm から 3 μm であり、これは無添加の試料と同等の値であった。Mo の量が 1.0mol%のとき、観察できた Nb<sub>3</sub>Sn の肉厚の平均が 5 μm から 10 μm であった。これより、Mo の添加量が少ない時は Nb<sub>3</sub>Sn の生成量に影響を与えない、もしくは生成が阻害されている可能性があり、多い時には Nb<sub>3</sub>Sn の生成が促進されているもしくは、Sn の拡散が促進されていることが分かった。

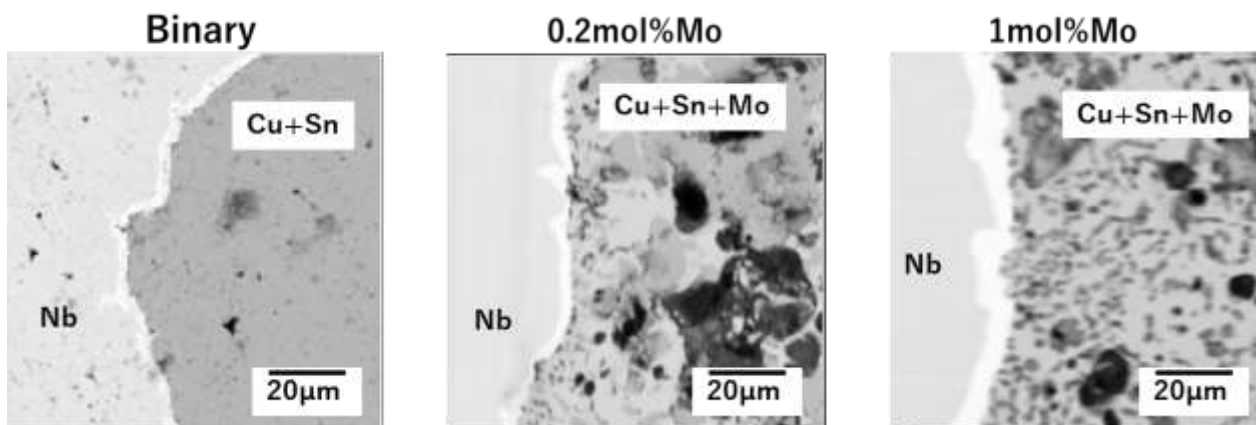


Fig. 1 Back-scattered electron image of the cross section of binary, 0.2mol%Mo doped and 1.0mol%Mo doped Nb<sub>3</sub>Sn wires.

### 【References】

1. E. W. Ekin, Cryogenics, Vol. 20 (1980) 611-624
2. M. Suenaga et al., J. Appl. Phys., Vol. 59 (1986) 840-853

## 高温超伝導体 REBCO の溶融成長条件の検討と観察

\*小澤優一朗（東海大学大学院工学研究科応用理科学専攻）、小島寛航（東海大学大学院工学研究科応用理科学専攻）

\*\*小黑英俊（東海大学工学部材料科学科）

### 【緒言】

高温超伝導体  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  (REBCO RE: Y または希土類元素) は、液体窒素中 (77 K) における磁場中特性が優れていることから、50 K 以上の高温領域での電力応用が期待されている超伝導体である。現在までに開発されている REBCO 線材は、薄膜のテープ線材として作製されている[1]。これは、REBCO の結晶構造の制約から、結晶軸を揃えなければ大電流通電が不可能であるため、薄膜で作製することで結晶軸の3次元配向を実現したためである。ところが、薄膜であるため、剥離に弱く、また、磁場の方向によって大きく通電特性が変化してしまうデメリットがある。このために、諸外国では高温超伝導丸線材の開発に力を入れている状況である。

一方で、浮上実験でおなじみの REBCO バルク体は部分溶融状態から、種結晶を用いて結晶を成長させる溶融結晶成長法で作製することで、非常に高い超伝導特性を持つことが知られている[2]。溶融結晶成長法によるバルク体作製では融点の高い  $\text{RE}_2\text{BaCuO}_5$  (RE211) を含む大型の REBCO バルク体を用いて、REBCO のみ部分溶融状態とし、徐冷によって種結晶と同じ結晶方向にバルク体を成長させることで、結晶軸の制御を行う。

そこで我々は、溶融結晶成長法による REBCO 丸線材の作製を最終目的として研究を行なっている。そのために、丸線のシースとなる銀の融点よりも、試料の REBCO の融点を下げることが条件となる。本発表では、丸線作製の前段階として、溶融成長条件の探索と作製した REBCO 粉末の評価を目的として実験を行なった。

### 【実験方法】

REBCO の融点を Ag より下げるため、添加すると融点を下げることで知られている Ag を REBCO の質量に対して 10% 添加した YBCO 粉末 (TEP 社製) の DTA による融点測定を行った。

融点をさらに下げるため、融点が高い YbBCO を利用することを考えた。RE : Ba : Cu = 1 : 2 : 3 のモル比となるように、また、RE を、Y : Yb = 1 : 1 のモル比となるように試料を秤量、混合し、仮焼成によって前駆体を作製した後、前駆体を粉砕、混合し本焼成によって REBCO 焼結体を作製した。これを粉砕した REBCO 粉末に対して、X 線回折 (XRD) 測定を行った。また、作製した REBCO 粉末に配向した GdBCO バルク体を種結晶として埋め込んだペレットを用いて、905℃まで10時間で昇温し、905℃で1時間保持、885℃まで10時間かけて降温する熱処理条件で REBCO バルク体の溶融結晶成長法を試みた。

### 【結果および考察】

図1に Ag 添加した YBCO 粉末の融点測定結果を示す。図1より、970℃ から溶融が始まり、1000℃ 付近で完全に溶融することがわかった。このため、Ag 添加のみでは Ag の融点である 960℃ より YBCO の融点を下げることができないことがわかった。

図2に REBCO 粉末の XRD の測定結果を示す。図2より、結晶性の良い REBCO 相が得られていることがわかった。REBCO バルク体の表面観察の結果は当日報告する。

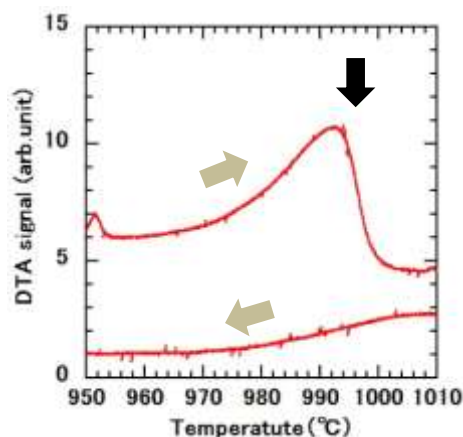


Fig.1 DTA of Ag added YBCO powder

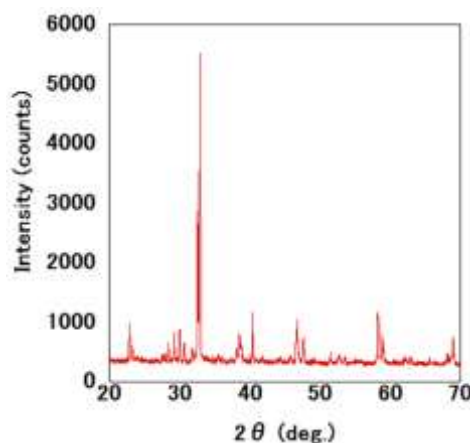


Fig.2 XRD result of (Y,Yb)BCO powder

### 【参考文献】

- [1] 和泉 輝郎、他、低温工学、**47** (2012) p. 590
- [2] D. A. Cardwell, Mat. Sci. Eng. B53 (1998) p. 1



CNT自立膜上にBi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>系を電解めっきした複合自立膜の作製・評価

\*江口 陸生(東海大学工学部材料科学科)、山口 将輝(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、

\*\*高尻 雅之(東海大学工学部材料科学科)

## 【緒言】

近年は環境の意識が高まり、物の再利用や、再生可能エネルギーなどにも注目が高まっている。そして、この再生可能エネルギーの有効活用として、熱電変換技術などが挙げられる。消費エネルギーの約70%は100～300℃の低温排熱エネルギーであり、その多くが未使用のまま環境に廃棄されている。熱電変換技術は発展途上の技術であり、実用化には熱電変換効率問題や半導体素子の低コスト化が求められる。現在、熱電変換素子にはBi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>、Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>系の材料が多く使用されている。室温付近において高い熱電変換性能を持ち、実用化や研究を含めた応用化なども進んでいる。今回はCNT自立膜（バッキーペーパー）上にBi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>およびSb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>薄膜を電解めっきで成膜し、2相から成る複合自立膜を作製する。

## 【実験方法】

水分散CNTを用いて真空引き装置にてバッキーペーパーを作製した。超音波洗浄を施したSUS板上に同じ大きさに切り取ったバッキーペーパーを乗せ、150 mm<sup>2</sup>の範囲だけ露出させ、めっきしない部分は全てカプトンテープで覆った。Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>めっき溶液を用いて電解めっきを施した。電解めっき終了後、露出部分のみを切り取った。試料作製後、各物性測定（電気抵抗測定、ゼーベック測定）を行った。今回の電解めっきの条件を以下の表に示す。

表1 電解めっき条件

| 試料番号 | めっき時間 (min.) | めっき面積 (mm <sup>2</sup> ) |
|------|--------------|--------------------------|
| 試料1  | 20           | 150                      |
| 試料2  | 30           | 150                      |
| 試料3  | 30           | 100                      |

## 【結果】

今回得られた結果から、水分散CNTを用いて作製したバッキーペーパーとSb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>の複合化ではある程度の定まった物性値が測定結果に表われた。また図2のSEM画像からはSb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>と思われる白く変色した部分が確認する事が出来た。

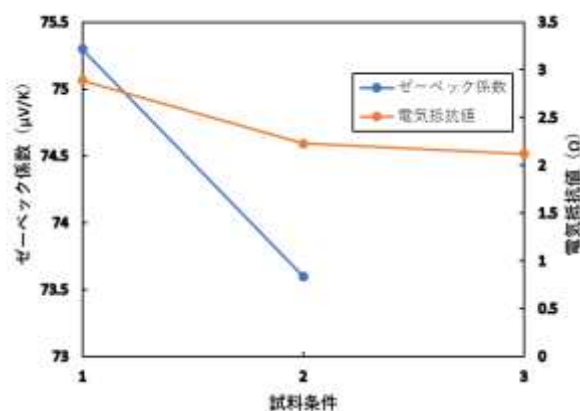


図1 自立膜の電気的特性

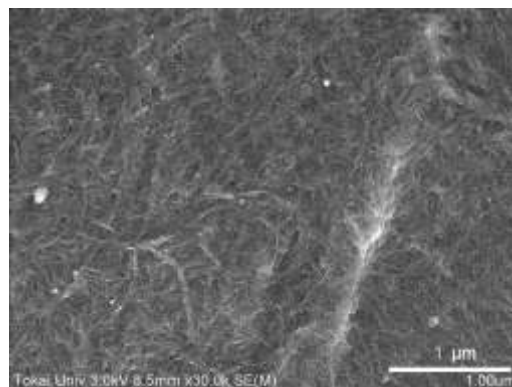


図2 試料1のSEM画像



## CNT とゴム複合による伸縮性自立型熱電素子の作製

\* 千葉知志 (東海大学材料科学科)、\* 関侑平 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)

\* \* 高尻雅之 (東海大学材料科学科)

## 1. 研究背景・目的

現在、運輸・産業・民生の分野において、一次エネルギーの半分以上が利用されずに廃熱になっている。このような背景のもと、利用されることなく環境中に排出されている膨大な量の未利用熱に着目し、その「削減 (Reduce)・回収 (Recycle)・利用 (Reuse)」を可能とするために、熱電変換技術があげられる。熱電変換技術は熱を電気に直接変換する技術であるが、現在使用されている熱電変換素子の多くは  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  が代表されるように重金属を用いた無機熱電変換材料である。無機熱電変換材料の特徴として、室温よりも高温で性能を発揮する点があげられる。そのため日常生活の使用は難しい。これらの条件を考えると、無害であり、室温付近で性能を発揮出来る有機熱電変換材料の開発が望まれる。本研究では、有機熱電変換材料の一つである Single walled carbon nanotube (SWCNT)を天然ゴム(NR)と複合させ薄膜を作製し、物性評価する。さらに NR を複合させることで得られる伸縮性について評価することを目的とした。

## 2. 実験方法

SWCNT 水分散、NR、界面活性剤(ドデシル硫酸ナトリウム:SDS)、を今回の実験では用いた。添加物を加えた溶液を、磁器攪拌を 500 rpm、15 min、超音波洗浄機(bathsonicator)を 15 min 使用し分散した。分散した溶液を吸引ビンとポンプを使用し、SWCNT/NR 複合膜(BP:バッキーペーパー)を作製した。作製した複合膜の熱電物性評価を行った。溶液の条件として、SWCNT:10 ml, NR:1 ml を基準とし、SDS の条件を変更した。

## 3. 実験結果および考察

図 1 にゼーベック係数、電気伝導率および  $P.F.$ の結果を示した。測定値のばらつきは見られたが、ゼーベック数および電気伝導率は SDS 増加に伴い上昇傾向を示した。SDS を添加したことにより、ゴムが分散され、CNT と天然ゴムの分散性が向上したことから、熱電変換性能が上がったと考えた。図 2 に SEM 写真を示した。

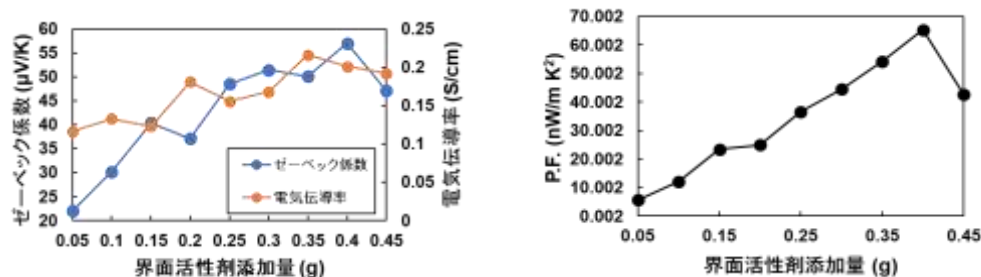
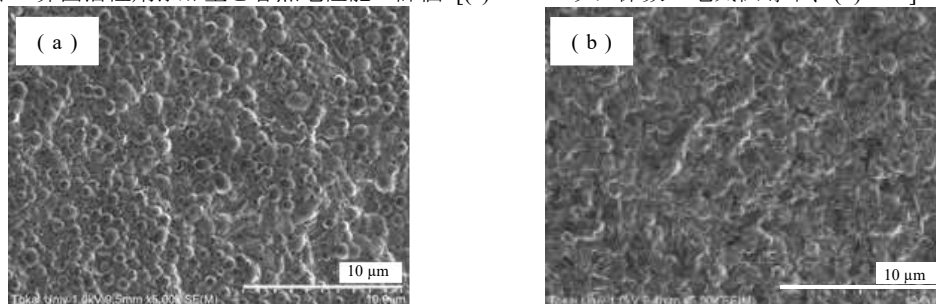
図 1 界面活性剤添加量と各熱電性能の評価 [(a):ゼーベック係数・電気伝導率、(b): $P.F.$ ]

図 2 SEM 写真 [(a): SWCNT 10 ml, NR 1 ml, SDS 0.45 g、(b): SWCNT 10 ml, NR 1 ml]

## Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートの結晶成長と形態変化

\*山崎秀夫(東海大学工学部材料科学科)、矢吹隼人(東海大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*高尻雅之(東海大学工学部材料科学科)

### 【目的】

近年、IoT 社会の発展のために様々な場所にセンサーを取り付ける需要が高まっている。センサーの取り付け場所によっては、外部電源への接続が困難な場合もある。熱電変換材料は、センサーを取り付ける場所で発生するわずかな温度差によって発電が可能である。

本研究では、最も実用化が進んでいる熱電材料の Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> をソルボサーマル法で薄い結晶のナノプレートを合成する。ソルボサーマル法におけるナノプレートの結晶成長機構は明らかにされていない。ソルボサーマル法における溶液の加熱時間を変化させることにより、ナノプレートの結晶成長における結晶形態の変化を探ることを本研究の目的としている。

### 【実験方法】

ソルボサーマル法により Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ナノプレートを表 1 の薬液条件で合成した。加熱時間は、20～480 min で変化させた。次に、遠心分離により、ナノプレートを分離・洗浄した。大気乾燥、減圧乾燥を経てナノプレートを粉末として取り出した。X 線回折、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて、試料を分析・観察した。

表 1 ソルボサーマル合成条件

| 薬品の種類                          |         | 薬液投入量      |
|--------------------------------|---------|------------|
| Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |         | 0.02 mol/L |
| TeO <sub>2</sub>               |         | 0.07 mol/L |
| PVP                            |         | 0.4 g      |
| NaOH                           |         | 0.5 mol/L  |
| エチレングリコール                      |         | 18 mL      |
| イオン交換水                         |         | 2 mL       |
| 加熱温度                           | 攪拌回転数   | 加熱時間       |
| 200℃                           | 500 rpm | 20～480 min |

### 【結果・考察】

合成した結晶の SEM 観察結果の一部を図 1 に示す。ソルボサーマル加熱時間を変化させることにより、結晶の形態が変化していることが分かる。20～30 min で六角形結晶と柱状結晶が析出し、30～60 min で六角形結晶の大きさが変化した。

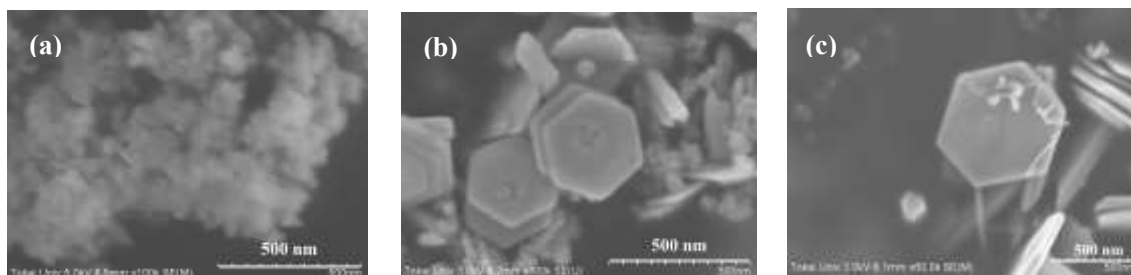


図 1 それぞれの加熱時間における Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> 結晶形態  
(a)20 min, (b)30 min, (c)60 min

## 熱 CVD 法における金属触媒膜厚が CNT 膜組織に与える影響の検討

\*加藤 裕一(東海大学工学部材料科学科)、小久保 良亮(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)

\*\*葛巻 徹(東海大学工学部材料科学科)

### 【緒言】

カーボンナノチューブ(CNT)は優れた機械的強度や耐食性、摺動性を持っていて、熱伝導率や電気伝導性を持っていることから、航空宇宙や医療、半導体分野など多岐に渡る分野への応用が期待されている<sup>[1]</sup>。そこで、CNT の工業的な大量生産が必要となるが、CNT の代表的な製法として、熱化学気相堆積法(熱 CVD 法)があるが、熱 CVD 法によって合成された CNT には構造的な欠陥が存在し、機械的強度が確保されないことが課題となっている。この問題に対しては、紡績による線材化で均質な機械的強度を確保する方法が提案されているが、これには紡績可能な CNT 膜の合成が必須となる。しかし、CNT の成長は触媒や原料ガス流量、合成温度に依存するため、製糸化に適した CNT の合成条件を探る必要がある。そこで、紡績可能な CNT 膜の合成を目的とし、金属触媒が CNT 膜に与える影響を検討した。

### 【実験方法】

Si 基板を縦 2.5 cm、横 1.0 cm の大きさに切り出し、セミコクリーン、蒸留水の順で 5 分間超音波洗浄を行い、十分に乾燥を行った。Quick Coater(SC 701HMC, SANYU ELECTRON)を用いて、同じ試料を複数作製した。スパッタ条件は Al の膜厚をそれぞれ 60~90 nm と 10 nm ずつ変化させて、Fe の膜厚は 1.5 nm で統一し、熱 CVD 装置を用いてアルゴンガスと水素ガスの混合ガス(Ar+H<sub>2</sub> 10%)雰囲気にて 750℃ 10min で触媒活性を行い、アルゴンガスとアセチレンガスの混合ガス(Ar+C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> 4%)雰囲気にて CNT の合成を 750℃ 10 min で行い、CNT 断面を走査型電子顕微鏡(SEM: JSM-5600V, JEOL)で観察を行った。また、同じ条件で触媒活性を行った試料に対して原子間力顕微鏡(AFM S-480 HITACHI)を用いて表面の様子を観察を行った。

### 【結果及び考察】

実験結果から、CNT 膜厚は(a)~(c)では約 64 μm、約 60 μm、約 44 μm となり、Al 膜厚が厚くなるほど CNT 膜厚は薄くなる傾向があったが、Al 膜厚 90 nm では他の条件の試料と比べると CNT 膜厚が約 168 μm となり、著しく厚くなった。また、Al 膜厚 70 nm 以降の試料は触媒粒子の不均一性が確認された。これは、スパッタ中に触媒粒子同士の凝集が起こったことがその原因の一つであると考えられる。各試料をピンセットで引っ張ったところ、本実験で作製したすべての試料で CNT の紡績には至らなかった。

紡績可能な CNT 膜の合成には Fe 触媒粒子の均一な大きさとほどよい粒子間隔が CNT 膜の垂直配向性に大きく影響する事が確認<sup>[2]</sup>されていることから、触媒粒子の不均一さが CNT の垂直配向性に悪影響を及ぼしたと考えられる。本実験結果から、Al 膜厚が 60 nm の試料は合成された試料の中で最も触媒粒径が小さく触媒粒子が均一であることから、紡績可能な CNT 膜の合成の条件に近い触媒膜厚だと考えられる。そのため、最も紡績可能な CNT 膜の条件に近いと考えられる Al 膜厚 60 μm 付近に絞り、紡績可能な CNT 膜の合成に最適な条件を確認する必要がある。

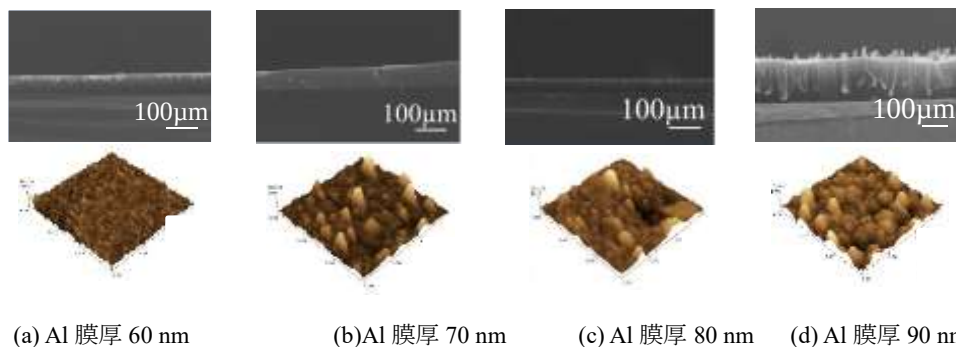


図1 CNT の SEM 全体像及び触媒薄膜表面の AFM 像

### 【参考文献】

- [1] yarn spun from carbon nanotube forests Production structure properties and applications CSIRO Materials Science and Engineering 2013 年 Particology 11 (2013) 378-393
- [2] 垂直配向多層カーボンナノチューブ成長に及ぼす Fe 触媒粒子の影響 千馬慶介、上田剛、光木文秋、池上知顯 平成 20 年度電気関係学会九州支部連合大会

## C<sub>60</sub> を固体炭素源とするグラフェンの形成

\*宮本 かおり(東海大学工学部材料科学科)、和田 有里(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、山田 貴壽(産業技術総合研究所)、\*\*葛巻 徹(東海大学工学部材料科学科、東海大学大学院応用理化学専攻)

### 【緒言】

近年、フラットパネルディスプレイの需要増加によって透明電極として使用されている酸化インジウムスズ(ITO)の枯渇が懸念されている。そこで、ITO に代わる代替材料としてグラフェンが注目されている。グラフェンは、 $10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$  の電気抵抗率を持ち、数層までの積層では透明である。グラフェンの主な合成方法として CVD 法があるが、金属基板からの転写によるシワや構造欠陥が生じてしまうという問題がある。そこで、本研究では C<sub>60</sub> を固体炭素源とする炭素導電膜をガラス基板上に直接形成し、電気的特性の評価と構造解析を行うことを目的とした。これまでの研究では、C<sub>60</sub> を炭素源とする導電膜の形成において UV 照射が有効であることから、UV 照射時の出力と時間の最適化及び雰囲気について検討してきた。本実験では、触媒として用いているニッケル(Ni)膜厚と形成された導電膜の構造との関係について検討した。

### 【実験方法】

抵抗加熱真空蒸着装置(JEE-400, JEOL)を用いて石英基板上に C<sub>60</sub> 薄膜(200 nm~300 nm)を蒸着した。蒸着した試料をガラス管に封入しターボ分子ポンプ(TG350FCA, 大阪真空機器製作所)を用いて約  $10^{-4} \text{ Pa}$  まで真空引きを行った。その後、UV 照射装置(HE1000C, SEN Light Corp)を用いて 500W24h で UV 照射を行った。スパッタ装置(SC-701HMCII, SANYU ELECTRON)を用いて石英基板上に Ni を約(a)10 nm, (b)15 nm, (c)20 nm, (d)25 nm, (e)30 nm でスパッタした。赤外線イメージ炉(HCP-7000, ULVAC)を用いて Ar 雰囲気中で 600℃10 min で熱処理を行った。その後、四探針電気抵抗測定装置(K-705RH, KYOWARIKEN)を用いた電気的特性の評価と、ラマン分光装置((a), (c), (e) : inVia Raman Microscope, Renishaw、(b), (d) : XploRA RFL005NU X15140, HORIBA)による構造解析を行った。

### 【結果・考察】

図1に熱処理後のラマンスペクトルを示した。図1より、試料(a)~(e)すべてにおいて、D、G、2Dバンドが確認され、グラフェンが形成されたことが分かった。表1に、図1のラマンスペクトルから読み取られた G/2D 比、G/D 比を示した。表1の G/2D 比のデータより、Ni 膜厚が厚くなるにつれて、グラフェンの層数が少なくなる傾向があると考えられる。また、Ni 薄膜に比例して欠陥が少なくなる傾向が認められた。

発表では、熱処理条件と Ni 触媒膜厚の条件が導電膜の構造に及ぼす影響について報告する。

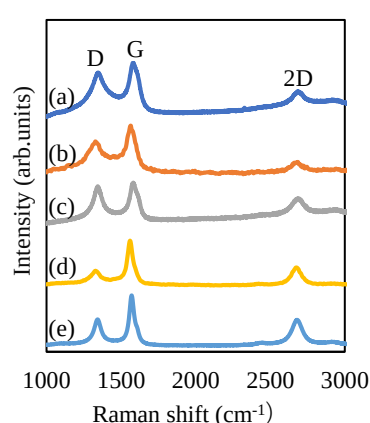


図1 熱処理後のラマンスペクトル  
(a)10 nm, (b)15 nm, (c)20 nm, (d)25 nm, (e)30 nm

表1 G/2D 比、G/D 比

| 試料  | G/2D 比 | G/D 比 |
|-----|--------|-------|
| (a) | 3.14   | 1.23  |
| (b) | 3.9    | 1.95  |
| (c) | 2.06   | 1.25  |
| (d) | 2.21   | 3.93  |
| (e) | 2.05   | 2.35  |

取り下げ

## Ni 系箔状ろう材によるステンレス鋼ろう付組織が耐食性に及ぼす影響

\*林 裕司、長田 洸(東海大学工学部材料科学科学部生)、大野 真沙(東海大学工学研究科応用理化学専攻院生)、  
\*\*宮沢 靖幸(東海大学工学部材料科学科教授)

### 【緒言】

フェライト系ステンレス鋼を Ni 系箔状ろう材 (BNi-2 相当) を用いてろう付すると、母材中の Cr とろう材中の B が反応し、界面近傍に Cr-B 針状化合物が形成される。また、その際に母材中の Cr が欠乏し、ろう付体の耐食性に悪影響を及ぼすことが懸念されている。

そこで、本研究では、EPMA 分析、電気化学的手法を用いてろう付体組織が耐食性に及ぼす影響に考察を加えた。

### 【実験方法】

母材にはフェライト系ステンレス鋼である SUS444 を、ろう材には Ni 系箔状ろう材を用いて、真空雰囲気によるろう付を行った。ろう付時間は、5 分、3 時間および 5 時間、試験片形状はシングルラップ形状とした。

ろう付後の試験片を切断し、耐水ペーパー#400-2000 およびダイヤモンドスラリー (バフ研磨) により研磨し、界面近傍に対して EPMA 分析をおこなった。

耐食性評価は、0.05 mol% $\text{H}_2\text{SO}_4$  を用いてポテンシオスタットによる分極測定を行った。

### 【結果および考察】

EPMA による元素分析の結果から、長時間のろう付により、Cr 欠乏相が抑制されることが示唆された。また、長時間のろう付により、Cr 欠乏層が抑制され、全体的な耐食性が向上することが示唆された。

### 【参考文献】

- (1) 岩田昌也：Ni 系箔状ろう材を用いたステンレス鋼ろう付体組織の形成メカニズム解析とその耐食性評価、東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻 2018 年度 修士論文
- (2) M. Weinstein, L. Lee, C.J. Skinner : Further Developments in Boron Free Nickel-Chromium-Phosphorus-Silicon Brazing Filler Metals (2012)

### 【謝辞】

本研究は日立金属株式会社との共同研究であり、材料提供やディスカッションを通じ研究に対し多くのご支援をいただきました。ここに感謝の意を表します。

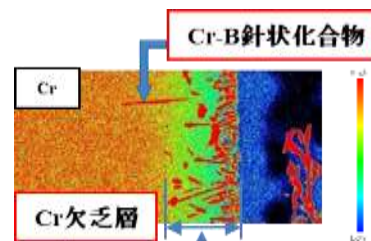


図 1 Cr-B 化合物と Cr 欠乏層

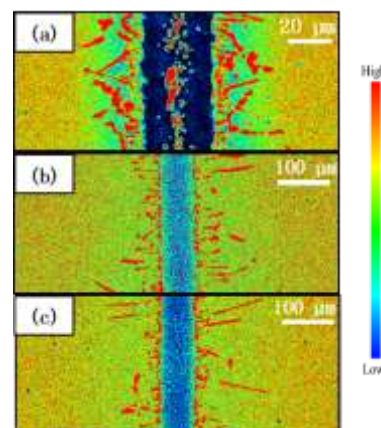


図 2 EPMA による Cr 分析結果  
(a) 5min (b) 3hour (c) 5hour

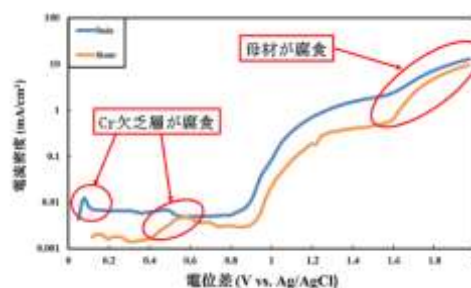


図 3 SUS444/MBF20 ろう付体の分極曲線



## Ag ろうによるステンレス鋼ろう付時の界面反応

\* 山口純平、上原由佳子（東海大学工学部材料科学科学部生）、三輪弘樹（東海大学工学研究科応用理化学専攻院生）

\* \* 宮澤靖幸（東海大学工学部材料科学教授）

### 【緒言】

汎用性の高いステンレス鋼を使用する場合、ろう付による接合が用いられている。ステンレス鋼は Ag ろう付される場合も多い。しかし、ステンレス鋼を Ag ろう付した時の界面反応について詳細に調査した事例は少ない。Ag ろうは Ni ろうと比較して軟質材料であり、疲労強度や衝撃強さを必要とする場合に用いられる。

そこで本研究ではこれら機械的性質に影響を及ぼす界面反応に考察を加える事を目的とする。

### 【実験方法】

母材にはステンレス鋼の板と丸棒を用いた。ろう材には 2 種類の Ag ろうを用いた。両者とも箔状ろう材であり、圧延加工により製造した。ワイヤー状 Ag ろうも用いてろう付した。試験片の模式図を図 1 示した。(a) 試験片はピン材を水平に接置する事により、母材、棒材間の界面反応の観察や分析を容易にした試験片である。これに対し、(b) 試験片は、丸棒材を垂直に設置した。設置面でのフィレット形状にも着目した。

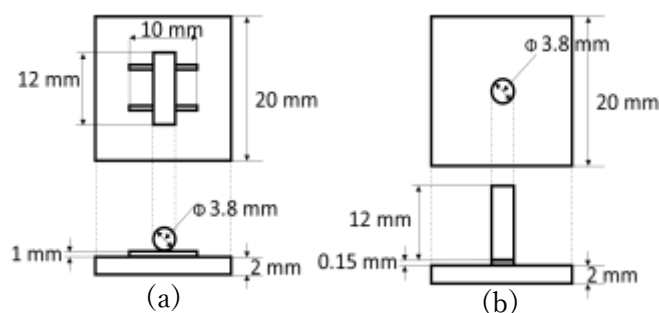


図 1 試験片の模式図

### 【実験結果と考察】

Ag ろうによりろう付した試験片形状(a)のろう付後の典型的な外観からろうが広がった部分は赤銅色を呈していた。一方、試験片形状(a)の場合、ろう付は成功した。外観観察結果より、ろう材の広がり部は赤銅色部と銀白色部により構成されていた。ワイヤー状ろう材によりろう付したろう付部断面の EPMA による元素分析結果を図 2、図 3 に示した。ろう付部断面をろう材量が比較的に少ない平行部とフィレット部に分け、分析結果をそれぞれを示した。

ろう付部フィレット部では Cu 初晶が母材側から成長している事が判る。これは母材側から冷却された事を表していると考えた。

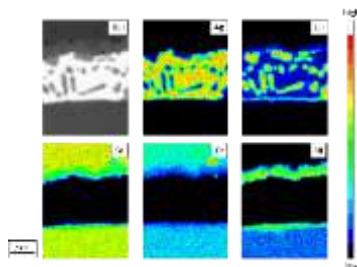


図 2 ろう付部断面平行部の元素分析結果

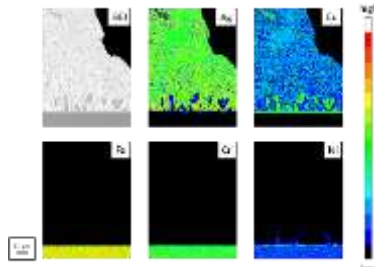


図 3 ろう付部断面フィレット部の元素分析結果

### 【参考文献】

- <sup>1)</sup> 出井裕、末澤芳文 Pd-Cu 系ろうによる Inconel600 の耐熱ろう材 日本機械学会論文集 A 編 65 巻(1999)638 号
- <sup>2)</sup> 和田次康 最近のろう材 日本金属会報 8 巻(1969)12 号

## ステンレス鋼ろう付時の Ag ろうへの元素添加効果

\*上原由佳子(東海大学工学部材料科学科学部生)、三輪弘樹(東海大学工学研究科応用理化学専攻院生)、山口純平(東海大学工学部材料科学科学部生)

\*\*宮澤靖幸(東海大学工学部材料科学科教授)

### 【緒言】

ステンレス鋼を Ag ろうでろう付している製品が多くある。ステンレス鋼を Ag ろうでろう付する際に Ag ろうのぬれ広がり性が優れていると良好なろう付体を得られる。ぬれ広がり性を改善するために、Ag ろうに元素を添加する事が試みられている。代表的な添加元素に Pd や Ni がある。一方、ステンレス鋼ろう付時の界面反応に Pd 添加量がどのように影響を及ぼすかは不明であり、適切なろう材設計に至っていない。元素添加量がろう付時界面反応プロセスに及ぼす影響を明確にすることが本研究の目的である。

### 【実験方法】

母材に SUS304L、ろう材に 2 種類の元素添加量が異なる箔状ろう材を用いた。窒素雰囲気下でろう付温度 1000℃、ろう付時間を 5 分に設定し、雰囲気炉を用いてろう付した。試験片ろう付部に対して垂直に切断後、断面を研磨し光学顕微鏡を用いて組織を観察し、EPMA を用いて元素分析を行った。元素の添加量が接合部組織に及ぼす影響を検討を加えた。ろう付部の信頼性を評価するためにはフィレット部とろう付体の平行部の主に 2 カ所のろう付部断面組織を詳細に観察する必要がある。

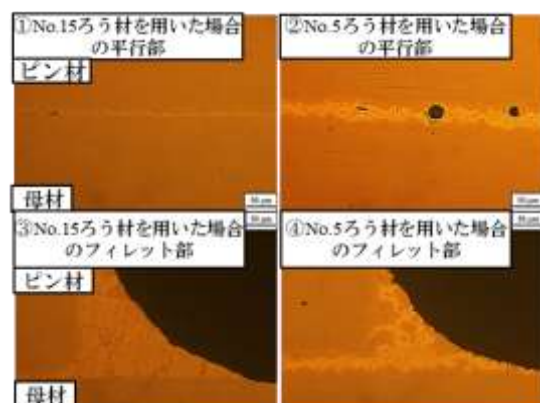


図1 No.5ろう材とNo.15ろう材によりろう付したろう付部断面組織

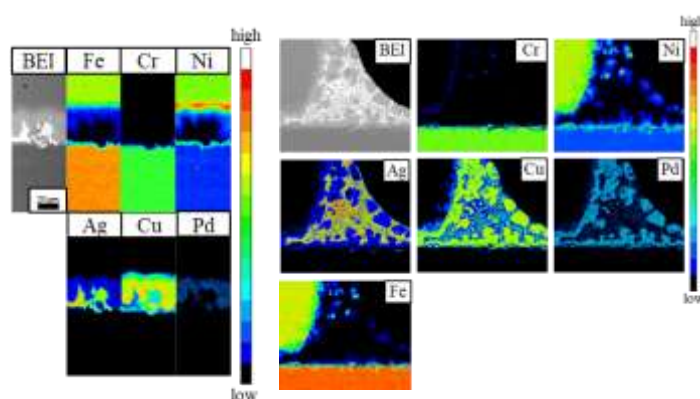


図2 No.5ろう材を用いた場合の平行部とフィレット部のEPMA分析結果

### 【実験結果と考察】

平行部とフィレット部のろう付体断面組織を図 1 に示した。また、それぞれの EPMA による元素分析結果を図 2 に示した。組織観察と EPMA 元素分析結果から、接合部に見られる白色相は Ag を主成分とする固溶体相であり、灰色相は Cu を主成分とする初晶であると考えられる。また、フィレット部には共晶ラメラ組織も確認された。ろう付体の界面付近には初晶が存在し、元素添加量を低減することによって、初晶が粗大化している。また、添加量が多い場合、初晶の面積が小さく、共晶ラメラ組織の面積が大きかった。この場合、Cu と添加元素が初晶を形成していると考えられる。

### 【参考文献】

<sup>1)</sup> 出井裕、末澤芳文 Pd-Cu 系ろうによる Inconel600 の耐熱ろう材  
日本機械学会論文集(A編)、65 巻、638 号、1999 P 2163~2168

<sup>2)</sup> P. Villars、Alan Prince Handbook of ternary alloy phase diagram Volume 3 P 2311, 2320~2331



## フラックス塗布量が銅合金ろう付時のボイド形成に与える影響

\*三浦弘量(東海大学工学部材料科学科学部生)、岡田博樹(東海大学大学院応用理化学専攻院生)

\*\*宮澤靖幸(東海大学工学部材料科学科教授)

### 【緒言】

一般に銅合金のろう付にはフラックスが用いられている。ろう付の際、接合間隙に溶融ろう材がぬれ広がりときに気化したフラックスやその残渣などを巻き込む事で溶融ろう材内にボイドなどの欠陥が形成されると言われている<sup>1)</sup>。接合間隙に発生したボイドは継手特性を低下させる恐れがある。しかし、ろう付後の試験片を使用した X 線非破壊検査などの従来の評価方法では、ろう付過程での溶融ろう材の挙動を外部から目視観察できない。そのため、ボイド形成メカニズムは明確になっていない。本研究では、ろう付と同時に X 線透過試験をすることによって、その場観察を行い、フラックス塗布量がろう付時の溶融ろう材の挙動及びボイド形成に及ぼす影響を調査することを目的とした。

### 【実験方法】

母材は六四黄銅を、ろう材はリン銅ろうである BCuP-8 を使用した。試験片は、図 1 に示した管継手と重ね継手を想定した二種類があり、試験片の間隙は、L 字形状は 100、500、800 $\mu\text{m}$ 、面形状は 100、500 $\mu\text{m}$  とした。フラックスはホウ酸-フッ化カリウム系で形状は溶媒を水とするペースト状である。Table1 に示した間隙ごとのフラックス塗布量の調節は溶媒を水として、薄めることで調節した。また、間隙への塗布は間隙を完全に埋める形で行った。炉は横型電気炉を使用し、アルゴンガス 0.6 mL/s の雰囲気で行った。ろう付温度は 680 $^{\circ}\text{C}$  とした。試験片作製後、X 線透過像をフレームレート 5 fps の動画で録画し、ろう付部のボイド観察を行った。

Table 1 フラックス塗布量

| 間隙 ( $\mu\text{m}$ ) | 単位面積当たりのフラックス塗布量 ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) |      |     |
|----------------------|--------------------------------------------|------|-----|
| 100                  | 323                                        | 171  | 77  |
| 500                  | 1613                                       | 853  | 387 |
| 800                  | 2581                                       | 1365 | 619 |

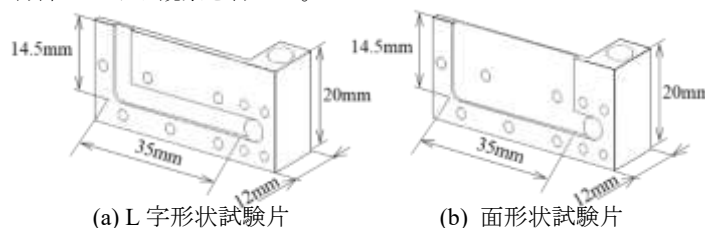


Fig.1 試験片概略図

### 【実験結果・考察】

撮影した透過像を比較した結果、L 字形状試験片では、ボイドの形状、サイズ、形成数などにフラックス塗布量ごとの違いが明確に現れた。一方で面形状試験片では、ボイドが殆ど形成されず、フラックス塗布量ごとの違いも現れなかった。そこで L 字形状試験片に焦点を当てて考察を加えることにした。

Fig. 2 に L 字形状試験片におけるフラックス塗布量とボイド率の関係を示した。グラフからは、527  $\text{g}/\text{m}^2$  から 4219  $\text{g}/\text{m}^2$  にかけて、フラックス塗布量の減少に従い、ボイド率が下降していくことが確認できた。

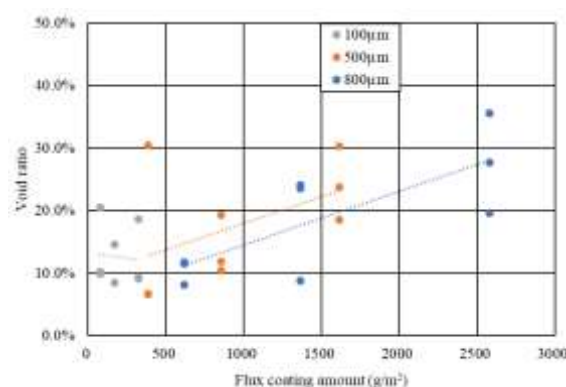


Fig.2 L 字形状試験片における  
フラックス塗布量とボイド率の関係

### 【参考文献】

- (1) 石井勇五郎 恩沢忠男 小林信義 佃健志：溶接学会誌，41 巻 2 号(1972)，194-203

### 【謝辞】

本研究は鷺宮製作所との共同研究である。ここに謝辞を表す。

## Ni 系ペーストろう材ろう付時のボイド発生メカニズム

\*酒井 真菜(東海大学工学部材料科学科学生)、佐々木 達也(東海大学工学研究科応用理化学専攻院生)、\*\*宮沢 靖幸(東海大学工学部材料科学科教授)

### 【緒言】

EGR システムは排気ガスの一部を吸入空気と混合させることにより、酸素量を減らし自動車の燃費向上を図ったものである。EGR クーラーには耐熱性や耐食性が求められており、ステンレス鋼と高温強度が高い Ni 系ろう材が使用されている。また、コスト低減と大量生産化のために大気圧下不活性雰囲気ガス中でろう付することが増加している。そのため、ペースト状 Ni 系ろう材によるステンレス鋼のろう付時にろう付部にボイドが発生する例が確認され、問題となっている<sup>1)</sup>。そこで本研究ではペースト状ろう材によるステンレス鋼ろう付時に発生するボイドを詳細に観察し、発生メカニズムを明らかにすることでボイド発生を抑制する手法の確立が目的である。

### 【実験方法】

図 1 に示した試験片図をもとに脱バインダー温度を 300°C、400°C、500°C、600°C、無し、に設定したものと、昇温速度を 5K/min、10K/min、20K/min に設定し全 20 条件用意した。X-CT による透過像などからボイドを調査した試験片を X-CT で透過像を撮影し、透過像より黒い影をボイドとして解析しボイド率を算出し、グラフなどにまとめた。

### 【実験結果・考察】

図 1 に示した条件における試験片のろう付界面を観察した X 線透過像を図 2 に示した。試験片方向が異なる A と B を比較したとき、B(下方向)で多くのボイドが確認された。また、透過像の塗布部以外の領域をぬれ広がり部と定義し、ボイド率を算出した。中央塗布(c)のボイド率は、ぬれ広がり部が 0.01%とほとんどボイドが存在しなかったが、塗布部は 15.9%であった。一方、線状塗布(d)では、ぬれ広がり部が 3.7%、塗布部が 17.7%であった。この結果から、ボイドはろう材塗布部を中心に発生していることが判る。また、ボイドは塗布部から離れるにしたがって縮小、減少する傾向にある。これは、バインダーが蒸発したことでろう材料粉間に空隙が形成され、空隙内にガスやバンダーの残渣が残留したことに起因すると考えられる。

### 【参考文献】

[1] X 線 CT を用いたステンレス鋼ろう付部に発生する欠陥の解析

和佐田匠、日本金属学会 2017 年春期(第 160 回)講演大会(2017.3.16)

### 【謝辞】

本研究で試料を提供していただいたカルソニックカンセイ(株)、東海大学マイクロナノ研究開発センターのご協力に感謝いたします。

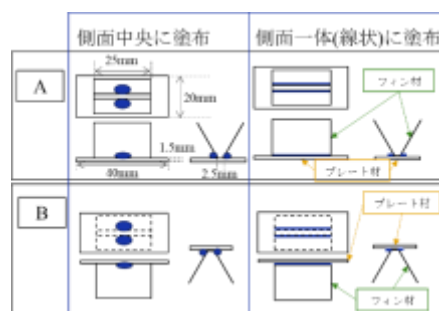


図 1 試験片模式図及びろう材塗布形態

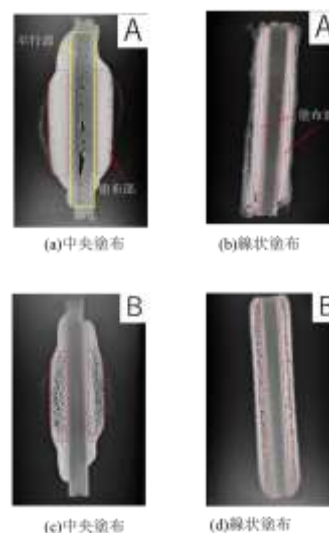


図 2 各塗布形態における X 線 CT 装置によるボイドの典型的な解析結果

## ステンレス鋼ろう付体の耐食性評価とその妥当性

\*長田 洸、林 裕司（東海大学工学部材料科学科学部生）、大野 真沙（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻院生）、\*\*宮沢 靖幸（東海大学工学部材料科学科教授）

### 【緒言】

ステンレス鋼を用いた工業製品の製造では、Ni 系ろう材によるろう付が用いられることが多い<sup>1)</sup>。この場合、ろう付体の耐食性評価が重要である。これまで、ろう付体の耐食性は、溶液中への浸漬時間が重量変化や強度に及ぼす影響により評価してきた。この手法では、耐食性の経時変化を評価する事が難しく、課題であった。一方、電気化学的手法による耐食性評価は、有効であるが、試験片形状に制限があった。そこで、本研究では、最も一般的なろう付継手である Single Lap 試験片を電気化学的耐食性評価法へ適用するための検討を続けてきた<sup>2)</sup>。その結果、工夫した形状を用いる事で耐食性評価が可能である事が判明した。しかしながら、耐食性発現の原因や溶液の種類などがステンレス鋼ろう付体耐食性に及ぼす影響の詳細は不明である。

本研究では、基礎データ取得するため、酸性溶液種類が耐食性評価結果に及ぼす影響を明らかにし、耐食性評価法の妥当性に検討を加える事を目的とした。

### 【実験方法】

塩酸溶液がステンレス鋼ろう付体の腐食挙動に及ぼす影響を調べるため、アノード分極曲線の測定を行った。各試験片形状を図1に示す。母材は短冊状、ろう付体は Single Lap 形状にし、母材にフェライト系ステンレス鋼 SUS444、ろう材に箔状 Ni 系ろう材を使用しろう付温度 1050℃、ろう付時間 5 分で真空炉による炉中ろう付を行った。測定面積は、絶縁物であるカプトンテープを用いて制御した。試験片を作用極、対極に Cu 板、照合電極に Ag/AgCl、ポテンシオスタットを用いて三極式セルをつくり、塩酸溶液中で自然電位から 2V まで 50mV/min の速度で電圧を掃引し、その際の電流値を記録した。また、ろう付体の各組織の腐食挙動を観察するため、ろう付体を任意の電位で溶液から取り出し、光学顕微鏡を用いてその場観察を行った。

### 【結果及び考察】

アノード分極曲線より、アノード反応はろう材、ろう付体、母材の順で顕著であることが判明した。塩酸溶液中における母材とろう材の自然電位を比較するとろう材のほうが母材のものよりも卑であり、実際の腐食環境下においてろう付体の腐食においてろう材が優先的に腐食されること可能性がある。また、その場観察と先行研究より、塩酸溶液中におけるろう付体の腐食過程は、Cr 欠乏層、ろう材層中の残留共晶部、母材の順であると考えられる。

### 【参考文献】

- 1) 松康太郎 東京ブレイズ(株)：ニッケルろうによるろう付とその最新動向，溶接技術 平成 23 年 9 月号
- 2) 岩田昌也 他(2019)：Ni 系箔状ろう材を用いたステンレス鋼ろう付体組織の形成メカニズム解析とその耐食性評価  
東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻修士論文（未公開）

### 【謝辞】

本研究は、日立金属株式会社との共同研究であり、研究材料の提供などのご支援いただいた事によって研究を進行することができました。深く感謝を申し上げます。

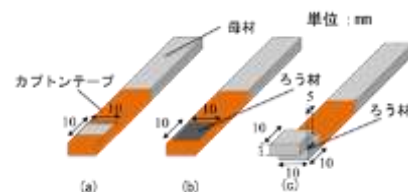


図1 試験片形状

(a) 母材 (b) ろう材 (c) ろう付体

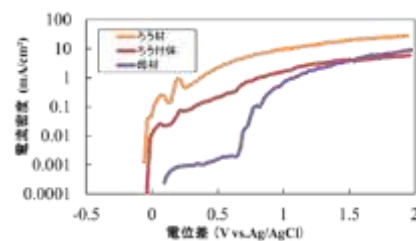


図2 アノード分極曲線

## はんだ付のその場観察による接合欠陥の低減

\*中村優太(東海大学工学部材料科学科学部生)、田嶋晃(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻院生)、\*\*宮沢靖幸(東海大学工学部材料科学科学教授)

### 【緒言】

Pb フリーはんだのはんだ付性の評価については多くの論文が存在している。しかし、Pb フリー黄銅に対する Pb フリーはんだのはんだ付性評価の実施例はほとんどない。また、はんだのぬれ性が悪く、はんだ付が困難であるという報告もある。そこで、これまで先行研究<sup>1)・2)</sup>で実用黄銅のはんだ付プロセスを解明し、定量的な評価法として平行二板試験片を提案した。さらに、はんだ付試料中のはんだ付部に存在するボイドを 4 種類ボイドに分類することに成功した。ボイド発生メカニズムを明らかにするためにフラックスから気泡発生をその場観察時に目視で確認した。その結果、発生した気泡が原因である事が示唆された。そこで、本研究では、先行研究にて目視確認されたフラックスからの気泡の発生に詳細な検討を加えた。本研究では温度域によって気泡発生挙動が変化すると考え、昇温時のフラックスの挙動をその場観察法を用いて調査することを目的とした。

### 【実験方法】

昇温速度を変化させたときのフラックス挙動の観察を目的とし、厚さ 5 mm、直径 30 mm の黄銅円板を用い、ホットプレートの設定温度を 300 °C と 250 °C に設定した。時間は先行研究を参考に 5 分間で設定し、その後空冷した。実験装置と試験片形状の概略図を Fig. 1 に示した。また、フラックスは活性温度域約 170°C～約 300°C の水溶性のものを使用した。

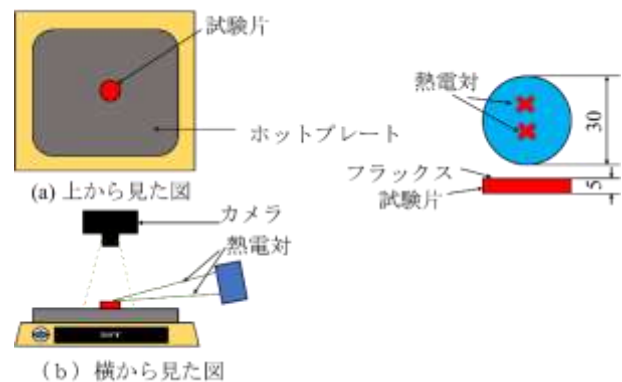


Fig. 1 温度履歴概略図と試験片条件

### 【結果及び考察】

温度履歴計測の結果 Fig. 2 のような結果が得られた。Fig. 2 と映像より 92°C で表面上に気泡の発生が観察された。これは昇温速度に関係なく一定の温度に達することによって起こっている。さらに昇温速度に関係なく加熱開始から約 100 秒～約 120 秒で試験片の表面が変色していたのが確認された。これはフラックスが加熱時に気化することで、表面上のフラックスが少なくなる。そのため、試験片の表面上で酸化物が再度形成されたと考えられる。

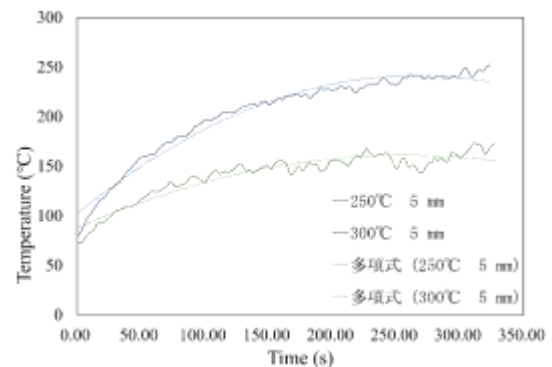


Fig. 2 試験片表面の温度履歴

### 【参考文献】

1. 降旗恭平、鳥飼翔太、木村康輝、宮沢靖幸、為田英信、萩原光一：銅と銅合金、55 (2016) p. 218～p. 222
2. 降旗恭平、花泉洋樹、宮沢靖幸、為田英信：銅と銅合金、57 (2018) p. 132～p. 136

### 【謝辞】

試料提供や貴重な助言をいただいた株式会社キッツメタルワークス様に心より感謝いたします。

## カーボン・カーボン複合材料と金属材料のろう付時の界面反応現象

\*山崎 詩音、戸田宏輝(東海大学工学部材料科学科学部生)、内堀 宗民(東海大学工学研究科応用理化学専攻院生)、  
\*\*宮沢 靖幸(東海大学工学部材料科学科教授)

### 【緒言】

C/C コンポジット(Carbon Carbon composite, Carbon Fiber Reinforced Carbon Composite)はグラファイト(マトリックス)を炭素繊維(強化材)で強化した炭素のみで構成されている複合材料であり、高い比強度、弾性、熱伝導率、耐熱性、耐久性、耐摩耗性等多くの優れた特性を有している。C/C コンポジットは加工が困難であることが知られている。接合方法は機械的接合が一般的だが、金属部品との冶金接合をする事により低コスト且つ応用範囲の拡大が見込まれる。ろう付は C/C コンポジットの冶金接合法の有力な候補の一つである。これまでの研究から、金属材料と C/C コンポジットの熱膨張係数差によりクラックが生じ、良い接合体が得られない事が報告されている。そこで C/C コンポジットをろう付により金属と接合することで用途を拡大させることを目標とし、本研究では、代表的なオーステナイト系ステンレス鋼と C/C コンポジットとを活性金属元素を添加した銀ろうでろう付する。

### 【実験方法】

中速カッターを用い金属板から試験片を切り出し、面出しを行った。ろう材として良好なぬれ性を示す金属である BAg-8 と活性金属元素である Ti 箔を接合部と同じサイズに加工し、超音波洗浄を行った。C/C を切り出し、研磨し、ジグ組みを行った。試験片形状は図 1 に示すように、配置した。また、今回の実験では活性金属元素として Ti を用いた。Ti はろう材である BAg-8 に積層させた。そしてろう付中、温度上昇とともに、まず BAg-8 が熔融し、Ti を溶解 BAg-8 に溶解させることによって擬似的に活性金属ろう材を作製した。Ti 箔の厚さを変えることによって Ti の含有量を変化させた。真空炉を用い、真空ろう付を行った。外観撮影を行い、樹脂埋めをした。自動研磨機等を用いて研磨を行い、光学顕微鏡を用いて組織観察を行った。また強度試験を行った。実験条件を以下に示す。

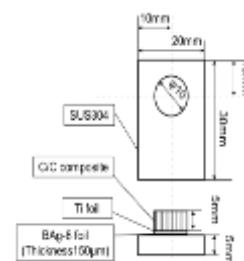


図 1 試験片形状

### 【実験結果・考察】

試験片 2 と試験片 4 の場合、良好な接合が得られた。ろうの C/C コンポジットへの侵入も十分に大きく見られた。ラメラ組織が形成され、ろう付界面に TiC 層も確認でき、強固な接合が得られた。ろうが C/C コンポジットへ適度に染み込むことで C/C コンポジットの空隙を埋め強固な接合面が得られたと考える。

一方、試験片 1 と試験片 3 の場合、良好な接合面が確認できなかった。試験片 1 では C/C コンポジットへのろうの侵入も小さかった。

また、Ti 箔の溶け残りも見られた。試験片 3 のろう付では Ti の量を半分に減らしたことにより Ti 箔の溶け残りは見られなかった。ろう材の C/C コンポジットへの侵入は小さい部分もあった。ろう付の際に Ti 含有量が不足したことにより TiC 層が形成されず強固な接合面が得られなかったと考察した。

### 【参考文献】

活性金属法として Ti をろう材層に使用した場合の C/C コンポジット/Cu ろう付体の評価 東海大学大学院 工学研究科 佐々木俊哉[1]

表 1 ろう付条件

| 試験片番号         | 1             | 2                       | 3           | 4           |
|---------------|---------------|-------------------------|-------------|-------------|
| ろう付温度         | 850°C         | 950°C                   | 900°C       | 900°C       |
| 冷却方法          | 炉冷            | 500°Cまで5K/min、500°C以下炉冷 | 炉冷          | 炉冷          |
| 保持時間          | 10min         |                         |             |             |
| SUS304        | 20*30mm 厚さ3mm |                         |             |             |
| C/C composite | 直径10mm 厚さ5mm  |                         |             |             |
| BAg-8箔        | 150μm 直径10mm  |                         |             |             |
| Ti箔           | 20μm 直径10mm   | 20μm 直径10mm             | 10μm 直径10mm | 20μm 直径10mm |
| Ti含有量         | 2.4mass%      |                         | 1.2mass%    | 2.4mass%    |



図 2 試験片ろう付部組織断





## Al/Cu ろう付部界面組織の基礎的解析

\*丸木 真吾(東海大学工学部材料科学科学部生)、佐藤 穂波(東海大学工学研究科応用理化学専攻院生)、\*\*宮沢 靖幸(東海大学工学部材料科学科教授)

### 【緒言】

材料の高性能化・軽量化が求められている今、異種材料の接合が注目されている。異なる特性を持つ複数の材料を接合することにより、欠点を補い高性能化を図ることができる。結合方式の異なる材料の接合は材料間に物質を挟み込む接合法が有効である。本研究では、大規模な接合や曲面など複雑形状に対応できるろう付にて、現在需要が増えている Al/Cu の接合を研究する。

Al/Cu の接合は自動車、電気製品、厨房機器、その他特殊な用途に用いられていて、熱伝導率、電気伝導率に注目した製品が多い。しかし、熱膨張率が異なることや、界面に脆い金属間化合物が形成されてしまうなどの問題がある<sup>[1]</sup>。また、これまでの研究で部位による界面反応の差異が顕著であり、母材がろう材へ溶解してしまうといった問題があった<sup>[2]</sup>。これは適切なろう材量の選定と精密な温度制御により改善できると考えられる。本研究では、異種金属材料接合の中でも需要が増えている Al/Cu のろう付についてろう材量と温度制御に着目した研究を行ない、接合メカニズムを解明することを目的とする。

### 【実験方法】

Al/Cu の接合で主に用いられる熱交換器と四方弁の接合を想定し、試験片形状を純 Cu パイプと Al 合金ブロックとした。ろう付を行なう炉は、横型炉内部にレールを設置し、モーターを用いて試験片の移動を可能にしたもので、精密な温度制御が可能である。

ろう付後、ろう付体を中速カッターで複数箇所切断した後、研磨した断面を光学顕微鏡で観察し考察を加える。

### 【実験結果・考察】

試料 1 のろう材量を 2 倍にしたものが試料 2 である。試料 2 は母材が大きく溶解しており、母材の溶解にはろう材量が大きく影響していると思われる。良好な接合体を得るには母材サイズ、接合面積に適したろう材量の選定が重要になると思われる。



図 1 ろう付体の組織

### 【参考文献】

- [1]日本金属学会誌 アルミニウム/銅クラッド材接合界面における金属間化合物の形成 謝煒 山口富子 西尾一政
- [2]熱交換器製品でのろう材エロージョン解析 長島正彦 上林一崇 古池紀之

【謝辞】 試料提供及び貴重な助言を頂いた株式会社 UACJ 金属加工様に心より感謝致します。

## 接合後熱処理による Ag ナノ粒子焼結接合層の変化

\*長谷川 俊喜(東海大学工学部材料科学科学部生)、工藤 勝裕(東海大学工学研究科応用理化学専攻院生)、\*\*宮沢 靖幸(東海大学工学部材料科学科教授)

### 【緒言】

近年の RoHS 指令による Pb の使用規制により、その代替として Ag ナノ粒子を用いた新たな接合プロセスの開発が行われている。しかし、Ag ナノ粒子による接合体に対し、製品使用環境下での時間経過後の特性に関して研究した例は少ない。本研究では、使用環境を想定した 300 °C 以下の比較的低温での接合後熱処理が Ag ナノ粒子焼結接合層のミクロ組織や機械的性質に及ぼす影響に検討を加えた。

### 【実験方法】

本研究では平均粒径約 20 nm のナノ Ag ペーストを複数枚重ね合わせた積層体を用いて研究を行った。積層体の乾燥条件は 130 °C、30 秒、焼結条件は 250 °C、90 秒、10 MPa、雰囲気はともに N<sub>2</sub>、または大気中とした。接合後は真空中 200 °C または 300 °C で 100 h で熱処理した。これまでの研究成果から、Ag ナノ粒子を用いた接合において、母材/焼結層界面では、金属同士が直接接合する事を確認しているが、拡散などによる元素の移動はほとんど無く、焼結接合層はほぼ Ag のみで構成されている事を確認している。そこで純 Ag バルク体を用いることで Ag 本来の挙動を確認した。圧延方向に対して垂直に切断し、研磨後マイクロビッカース硬さを測定した。試験条件は荷重 0.05 kgf、荷重負荷時間は 30 秒とし冷間圧延後、室温、大気中で経過時間約 1 年半後の硬さまで計測した。また、再結晶プロセスに詳細な検討を加えるため、純 Ag バルク体の熱処理を真空炉で 100 °C、150 °C、200 °C、300 °C、500 °C、700 °C で 1h 行い、熱処理後の硬さ測定や EBSD 分析を行った。

### 【結果及び考察】

熱処理が Ag ナノ粒子焼結体の硬さに及ぼす影響を調査した結果、熱処理温度の上昇に伴い硬さが低下していく様子が確認された。特定の熱処理温度以上での急激な硬さ変化などは確認できず、焼結雰囲気に関わらず低下傾向にあることが確認された。

純 Ag バルク体の硬さ測定結果を Fig. 1 に示す。その結果、硬さの急激な変化は見られず、熱処理されたサンプルも最終的には常温で時効軟化したものと同じ程まで低下していることから、純 Ag の再結晶温度は室温以下であり、回復や再結晶といった現象が複合的に作用して軟化が進んでいると推察された。

そこで、実際に再結晶による粒成長を確認するべく、EBSD を使って再結晶粒の確認を試みた。圧延から 72 h 及び 288 h の結果を Fig. 2, 3 に示す。この 2 つの IQ マップより、圧延後 100 h 以上の時間経過で再結晶が組織中で起こっていることが確認できた。よって純 Ag バルク体の硬さの低下が室温以下に再結晶温度を持つ再結晶によるものであることが示唆された。

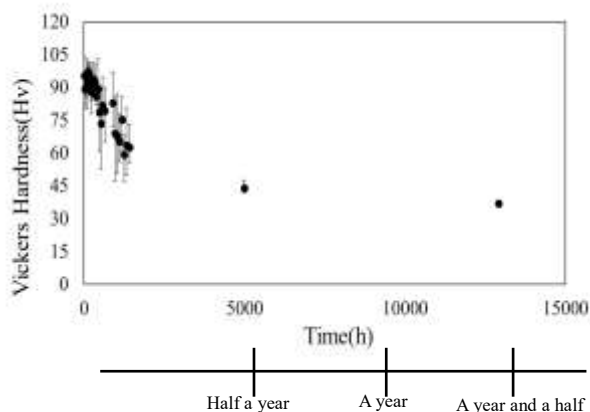


Fig.1 Age softening of rolled silver bulk.

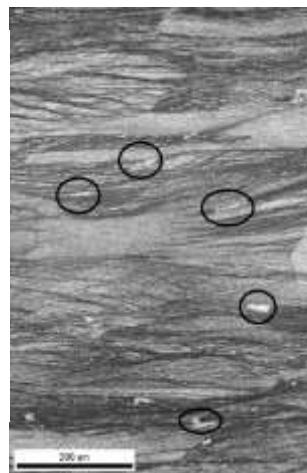


Fig.2 Grain growth after 72 hours.(IQ MAP)

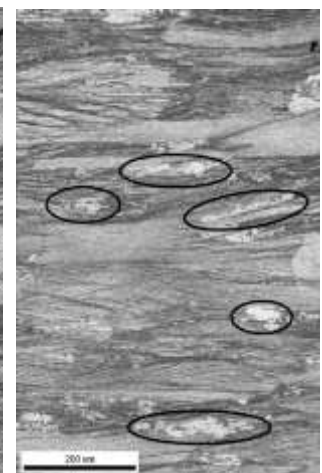


Fig.3 Grain growth after 288 hours.(IQ MAP)

### 【参考文献】

武藤隼人,宇塚翔平,宮沢靖幸, "Ag ナノ粒子を利用した接合とメカニズムの解明" 日本金属学会講演概要 (CD-ROM) Vol.156th, PP.ROMBUNNO.207 (2015.03.04) .

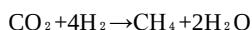


LaNi<sub>5</sub>とCO<sub>2</sub>の反応性

\*森木 翔平(東海大学工学部材料科学科)、\*\*源馬 龍太(東海大学工学部材料科学科)

## 1.背景・目的

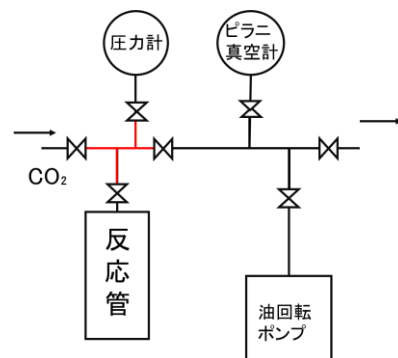
19 世紀初期の産業革命以来、人類は大量の CO<sub>2</sub> を排出してきた。その結果、大気中の CO<sub>2</sub> 濃度は増加し続けそれに伴い地球の気温も上昇してきた。この温度上昇を抑えるためには CO<sub>2</sub> の排出量を削減する以外に、大気中にすでに存在する CO<sub>2</sub> を減らすという手段も考えられる。その方法の一つとして、サバティエ反応を用いたメタン生成が挙げられる。サバティエ反応とは、以下の式の様に CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub> を高温状態で Ni 等を含む触媒に接触させる事によってメタンを生成させる反応のことである [1]。



またサバティエ反応には、宇宙空間での生存環境の維持に重要な役割が期待されている[1]。先行研究において、LaNi<sub>5</sub>を触媒とした場合の CO<sub>2</sub> のメタン化で消費される CO<sub>2</sub> 量がサバティエ反応から推測される値より多いことが示唆されている。そこで、本研究では CO<sub>2</sub> と LaNi<sub>5</sub> の反応性について調査することを目的とした。

## 2.実験方法

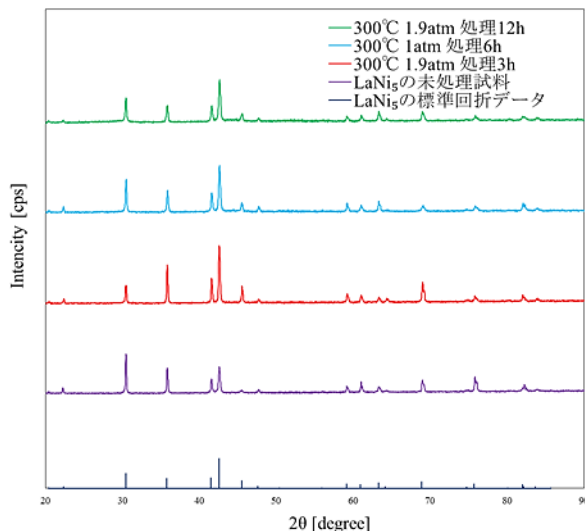
実験にはジーベルツ装置(図 1 に概略図を示す)を使用した。実験手順を以下に示す。反応管に粒径 40 μm 以下の LaNi<sub>5</sub> 試料を封入し外部から 300 °C に加熱した。その後、CO<sub>2</sub> を標準温度で 1~1.9 atm になるように注入して一定時間経過させ、その間の圧力の推移を測定した。測定後、反応後の粉末試料の相を同定するために XRD 測定 (Rigaku, Miniflex 600, Cu Kα)を行った。



## 3.実験結果

実験の結果得られた回折データを実験前の回折データ及び LaNi<sub>5</sub> の標準回折データ[2]を図 2 に示した。回折データを比較すると試料は高温状態に置かれた時間に関係なく LaNi<sub>5</sub> 単相であると推測されるが、表面相における局所的な変化については、XRD では検出できない。

そこで、今後は LaNi<sub>5</sub> を圧力、温度等の条件を変化させた場合の影響について、熱重量分析 (TG) 走査型電子顕微鏡 (SEM)、エネルギー分散型 X 線分光法 (EDX)、XRD を用いて詳細に調査する。

図 2 LaNi<sub>5</sub>の反応条件と標準回折データの比較

## 4.参考文献

- [1] Asuka SHIMA, Masato SAKURAI, Yoshisugu SONE, Mitsuru OHNISHI, Akiko YONEDA, Takayuki ABE, Int. J. Microgravity Sci. Appl. Vol. 30 No. 2 (2013) 86-93.
- [2] P. Thompson, J.J. Reilly, J.M. Hastings, J. Less-Common Met. 129 (1987) 105-114.

## スパッタリング法により作製した Mg-Pd 合金膜上における CO<sub>2</sub> のメタン化反応の検討

\*西海 涼青(東海大学 工学部 材料科学科)、\*\*源馬 龍太(東海大学 工学部 材料科学科)

### [背景・目的]

化石燃料の大量消費などにより増加している大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) は現在進行中の地球温暖化の主要原因とされ、今後、自然環境と社会・経済ともに大きな損害を与える可能性が危惧されている。また、化石燃料は有限であり、希少化・枯渇が生じる前に依存率の低減、脱却が必要となる。このため、サバティエ反応などによる大気中 CO<sub>2</sub> のメタン化が提案されている。サバティエ反応により得られたメタンやそれを利用して作製した合成燃料を燃焼させても、生じる二酸化炭素はそれらの作製に用いられた分のみで、新たな増加は生じない。また、メタンは都市ガスの主成分であることなどから、既存のインフラを活用したエネルギー利用が期待される。しかし、これまでに開発されたメタン化プロセスでは、最低でも 200 °C 以上の高温が必要とされているため、省エネルギーの観点からさらに低温で動作可能な触媒の開発が望まれる。そこで本研究では、水素解離能に富む表面を持つ水素吸蔵合金に着目し、水素吸蔵合金薄膜を用いたサバティエ反応の可能性について検討することを目的とした。

### [実験方法]

Mg-Pd 合金膜作製に先立ち、Mg ターゲット (99.9 %) と DC スパッタリング装置を用いてガラス基板、Si 基板上に Mg 薄膜の成膜を試み、X 線回折法による測定、評価を行った。また、Mg 薄膜上に Pd のスパッタ蒸着を行った積層膜を成膜し、X 線光電子分光法により深さ方向の元素分析を行った。

### [結果・考察]

薄膜に対する、X 線回折測定の結果とマグネシウム、酸化マグネシウム、水酸化マグネシウムの X 線強度ピークのリファレンス(参照)データを比較(図 1)したところ、両者のピークが見られる回折角、X 線回折強度に大きな差が見られた。このことから、酸化物や水酸化物以外の化合物が生成している可能性や、不定比組成の酸化物や水酸化物等が生成した可能性が考えられる。X 線光電子分光測定の結果(図 2)から、Pd/Mg 界面は急峻ではないことから、合金化しているものと推測される。

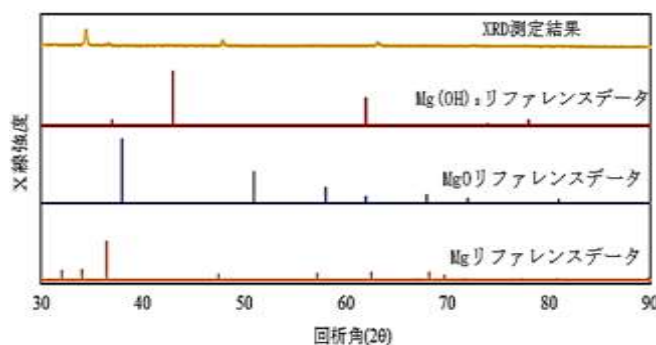


図 1. X 線回折測定結果とリファレンスデータの比較

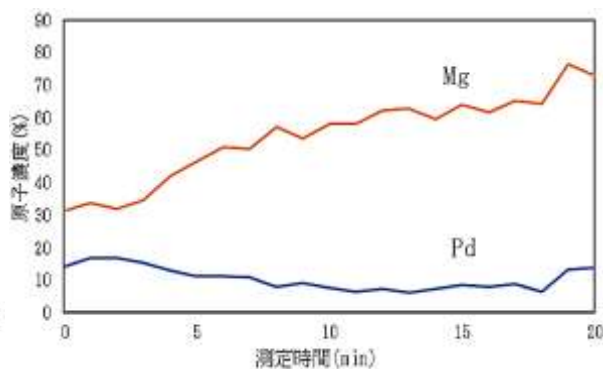


図 2. X 線光電子分光測定結果

### [今後]

化合物、不純物の少ない Mg-Pd 合金薄膜を作製し、密閉構造を持つ容器内で加熱することで、水素吸蔵合金薄膜から供給される水素と二酸化炭素との反応を促し、合金薄膜上におけるサバティエ反応の可能性について四重極質量分析計やガスクロマトグラフィーを用いたメタン検出を試みる。

## 液中プラズマ法を用いたナノカーボンの作製および燃料電池触媒への応用

\*今井 亮太(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*庄 善之(東海大学工学部電気電子工学科)

[背景]

固体高分子型燃料電池は燃料ガスの電気化学反応を促進するために、カーボンブラック表面に担持されたPt(プラチナ)が燃料電池用触媒として用いられている。そのことが、燃料電池の高価格化の要因となっている。固体高分子型燃料電池の低コスト化のためには、Ptを微細化し、比表面積を広くする必要がある。また、そのPt微粒子を担持するため、これよりも比表面積が広いナノカーボンも求められている。

[目的]

本研究では、液中プラズマ法を用いて従来のカーボンブラックより微細で高い比表面積を持つナノカーボンを作製することを目的とする。また、作製したナノカーボンを担持体として、燃料電池触媒の作製を行う。担持材を微細化することで比表面積を増加させることができ、より微細なPt微粒子を利用出来るため、燃料電池のコストを削減することが期待できる。

[実験方法]

図1にナノカーボン作製に用いる液中プラズマ装置の概略図を示す。2-プロパノール(IPA)40[mL]中に2本のグラッシカーボン電極を1[mm]の間隔で設置し、パルス幅2.0[μs]、周波数30[kHz]の条件の高電圧パルス電源に接続した。電極に4[kV]のパルス電圧を印加することで、IPA中にプラズマを発生させた。プラズマがIPAを分解することで、ナノカーボン粒子を作製した。次に作製した分散液の分散媒をIPAから純水に置換した。はじめに遠心分離機でナノカーボンを沈殿させた。その後上澄み液30[mL]取り、純水を30[mL]加えた。そして超音波攪拌機を用いて攪拌させた。この工程を4回行った。次に、置換させた分散液40[mL]をPt(プラチナ)電極を用いてプラズマ処理を行い、燃料電池触媒を作製した。

[結果考察]

図2にIPAから作製したナノカーボンを担持体とした燃料電池の出力電流に対する出力電圧と出力電力の発電特性を示す。開放電圧は約0.8[V]となり、電流を増加させるにつれ電圧が降下した。最大電力は約0.65[A]の時、約22.3[mW/mg]となった。図3にIPAから作製したナノカーボンを用いた燃料電池のコール・コールプロットを示す。コール・コールプロットは全て虚数軸のマイナス方向に半円を描いた。コール・コールプロットは虚数軸のマイナス成分を持つため、この虚数成分はキャパシタンス成分に起因するリアクタンス成分であると考えられる。原点から半円の始まる位置までが直列抵抗成分、半円の実数軸上の直径が並列抵抗成分を示している。直列抵抗成分は約0.035[Ω]となり、並列抵抗成分は約8.8[Ω]となった。

これらの結果から液中プラズマ法を用いて作製したナノカーボンにPt触媒を担持することで燃料電池の触媒として機能することを確認した。

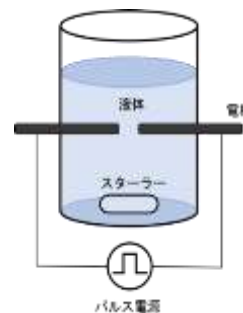


図1 液中プラズマ装置

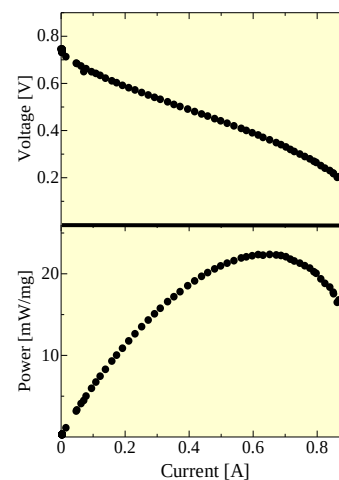


図2 燃料電池の発電特性

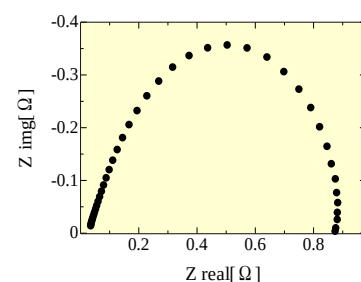


図3 燃料電池のコール・コールプロット

## 液中プラズマ法を用いた燃料電池用 Pt 触媒の作製

\*松下 友也(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*庄 善之(東海大学工学部電気電子工学科)

〔背景および目的〕

固体高分子型燃料電池は水素と酸素の化学反応を利用した発電デバイスである。高い発電効率を持ちながら発電時に排出するのは水のみであるため、次世代の発電システムとして期待されている。燃料電池には電気化学反応を促進させるため、炭素粒子に Pt を担持した Pt 触媒が使用されており、その Pt 触媒が燃料電池の高コスト化の要因となっている。そのため、燃料電池への Pt 使用量の削減が求められている。

そこで本研究では液中プラズマ法を用いて、Pt 微粒子をカーボン表面に担持し、燃料電池の触媒を作製することを目的とする。Pt を微細化することで単位質量当たりの表面積を拡大し、触媒に使用される Pt 量の削減および燃料電池の高出力化を目的とする。

〔実験方法〕

ビーカーに純水 40[mL]とカーボンブラック 18.9[mg]を混合し超音波攪拌機を用いて 5 分間攪拌させて濃度 0.047[%]の混合液を作製した。混合液中に 2 本の Pt 電極を 1[mm]間隔で設置し、電極をパルス電源に接続した。放電電圧 1.0[kV]及び 4.0[kV]、周波数 30[kHz]、パルス幅 2[μs]の条件で液中プラズマを発生させた。液中プラズマによって電極がスパッタされた Pt スパッタ量は約 5.0[mg]になるまで放電処理を行い、燃料電池用 Pt 触媒の作製を試みた。

作製した燃料電池用 Pt 触媒を燃料電池に組み込み、発電性能を測定した。

〔結果・考察〕

図 1 に放電電圧 1.0[kV]及び 4.0[kV]で印加し作製した燃料電池の出力電流に対する出力電力の発電特性を示す。1.0[kV]で作製した触媒を用いた燃料電池の最大出力電力は、電流 7.61[A]の時に 2.85[W]であった。一方で放電電圧を 4.0[kV]の触媒を用いた燃料電池の最大出力電力は、電流が 6.09[A]の時に 2.03[W]であった。図 2 に放電電圧を 1.0[kV]及び 4.0[kV]で印加し作製した燃料電池のコールコールプロットを示す。1.0[kV]と 4.0[kV]の触媒を用いた燃料電池の並列抵抗成分は、それぞれ 54.5[mΩ]と 74.8[mΩ]でした。

以上の実験結果から、液中プラズマ法を用いてカーボン表面上に Pt を担持させ、燃料電池用触媒として機能することを確認できた。作製した燃料電池用触媒を比較すると、4.0[kV]の触媒を用いた燃料電池に比べ、1.0[kV]の触媒を用いた燃料電池の方が最大出力電力は高かった。液中プラズマの放電電圧を下げると微細な Pt 微粒子を形成出来たため燃料電池の並列抵抗成分が減少し最大出力電力が増加した。これは、放電電圧を下げて液中プラズマ処理を行うことで、より微細な Pt 微粒子を形成できたと考えられる。

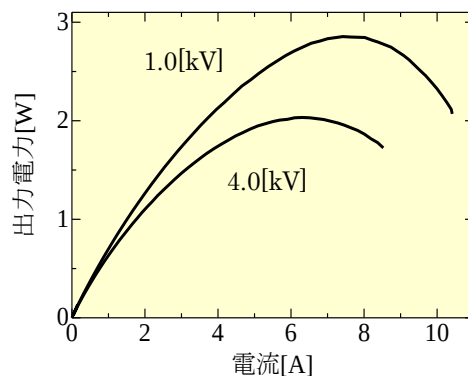


図 1, 放電電圧を 1.0[kV]及び 4.0[kV]印加し作製した Pt 触媒の発電特性

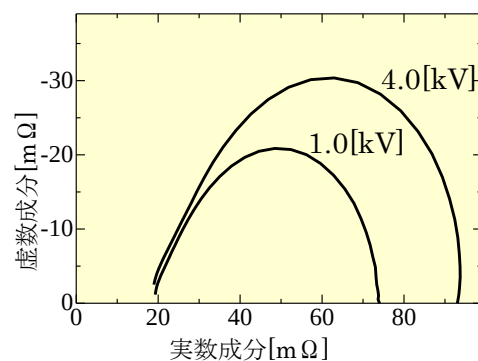


図 2, 放電電圧を 1.0[kV]及び 4.0[kV]印加し作製した Pt 触媒のコールプロット

## 冷間加工されたタングステン板中の組織と欠陥に関する研究

\*山根 諒也(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、滝本 壽来生(東海大学大学院総合理工学専攻)、金子 新(東海大学理学部物理学科)

\*\*内田 ヘルムート貴大(東海大学工学部精密工学科)、利根川 昭(東海大学理学部物理学科)

### 1. 緒言

将来の発電方法として核融合を利用した発電が注目されており、フランスに建設中の核融合実験炉(ITER)をはじめ、各地で研究が行われている。高融点金属であるタングstenは核融合炉で最も使われる金属の一つであり、粒子排気やプラズマ制御を補助する役割であるダイバータの材料として注目されている。しかしながら、タングstenが水素プラズマに曝されると、水素がタングsten中に侵入し、脆化の原因の一つとされている。一般に水素脆化が起こると、外部から応力を受けた際に変形できず、応力集中部にクラックが発生し事故に直結する。そのため、安全の面からタングsten中の水素の拡散や吸蔵特性については1960年代から調査されている。金属中の水素の振る舞いは結晶粒の大きさに左右されることが知られており、材料を扱う上で結晶粒径は強度などを決定づける重要な要素の一つとなる。組織と欠陥を含めてタングsten中の水素の振る舞いを理解することは学術的にも工学的にも極めて重要である。そこで今回我々は表面観察のためのタングstenにおける電解研磨の最適条件を検討した。

### 2. 実験方法

本研究の試料として純タングsten板(純度99.5%、20 mm×20 mm×0.2 mm)を用い、電解研磨前に超音波洗浄機で5分間洗浄を施した。電解液には2MのNaOH水溶液を用い、対極には電極間距離が15 cmになるようAu電極を設置した。電解液に試料を半分入れ、研磨される表面積が400 mm<sup>2</sup>になるように取り付けた。研磨時間は300 sとし、印加電圧は3 V、5 V、10 Vの3通りの条件で実験を行い、通電中の電流値を計測した。また、通電中に試料に対して手で振動を加え続けたものと、固定したものを比較した。研磨を施した試料は卓上走査型電子顕微鏡(JEOL 社 JCL6000PLUS)を用いて表面観察を行った。

### 3. 結果

研磨中に試料に振動を与えながら研磨した試料において、印加電圧の条件を変化させても、試料の表面は梨地状のものしか確認できず、SEMで観察を行ったが結晶粒界は確認できなかった。

研磨中に試料を固定し、研磨した試料において、印加電圧条件を3 Vに設定し、研磨した試料には表面に酸化被膜が残っていた。印加電圧条件を5 Vに増加させることにより酸化被膜が研磨され、鏡面状態を得た。この試料をSEMで観察したものを図1に示す。この試料では結晶粒界と思われるコントラストを得た。続いて印加電圧条件を10 Vに設定し、研磨した試料に関しても表面を鏡面に仕上げるのができたが、研磨力が強すぎたため、試料が一部欠けた。図2に観察できた結晶粒の面積をヒストグラムでまとめたものを示す。結晶粒の面積については2 μm<sup>2</sup>~3 μm<sup>2</sup>の階級の度数が最も大きくなった。

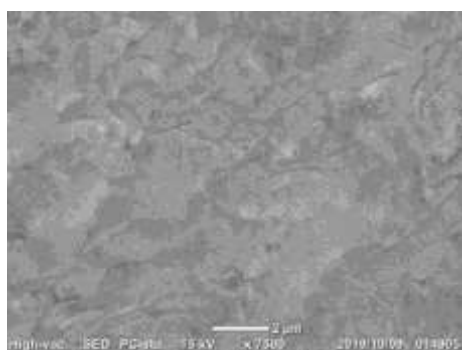


図1. 5Vで300秒間電解研磨したタングstenのSEM画像(×7500倍)

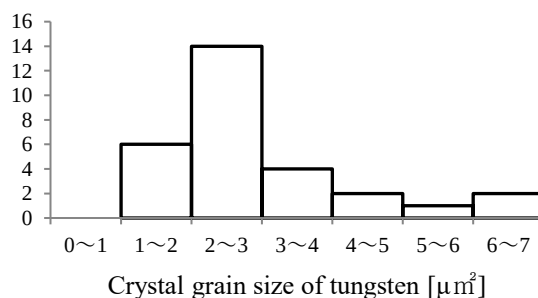


図2. 結晶粒の面積を示すヒストグラム



## Cu-Ti 系薄膜組織の微細化に関する研究

\*鎌田 健聖(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、 荒井 伸亮(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、 松村 義人(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、 \*\*内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)

【緒言】イオンプレーティング法(以下 IP 法)は、膜の性質を向上させる表面改質法の一つであり、その原理は減圧下における放電中に、めっきをしようとする物質を蒸発させ、これの一部をイオン化し電界加速することで大きなエネルギーを持って被めっき物へ蒸着・注入するものである。その結果、表面近傍においては過飽和固溶の金属組成を実現することが出来る手法としても知られている。本研究は、この手法を用いて作製したバルク金属試料を水素処理することで、塑性加工することなく微細化させる現象の発現を試み、物理的特性の向上を目指す事を目的とする。このような手法としては一般に、Nd-Fe-B 磁石に対する水素処理(HDDR 処理)による組織微細化およびこれに伴う磁気特性の向上が知られる。これは水素に対する熱力学的な特性の違いを利用したものであるが、他の成分系では Al 系合金、Ti 系合金、および Cu 系合金の一部での限定的な発現事例が報告されているのみである。IP 法を用いて過飽和固溶の金属組成を実現することで HDDR 現象が促される可能性が考えられるが、これまでに報告事例がない。この調査のためには、まずは IP 法による過飽和固溶試料の作製そのものを試みる必要がある。

一般に、Hall-Petch の関係式からも知られるように、結晶粒が微細化に伴い金属中の転位は粒界をこえて移動しにくくなり、結果として高強度化と高靱性化を図ることができる。従来の合金の結晶粒微細化方法としては、冷間圧延と再結晶の組合せや、ECAP 法などの強ひずみ加工、および液体急冷法などが知られているが、これら従来の手法では結晶粒径は  $1\mu\text{m}$  程度が限界であるのに対し、HDDR 処理では 1 オーダー小さい粒径が得られるため、実用合金における HDDR 現象の発現は学術的のみならず工業的にも大きなインパクトをもつ。そのような実用合金の一つである銅(Cu)および Cu 合金は、電気および熱の高伝導性・加工性に優れ、その優れた特徴により工業だけでなく医療・船舶・建築業など様々な分野に活用されている。近年、Cu-Ti 系合金はパソコンや携帯電話等の電子機器の主にコネクタ端子、バッテリー端子、バーンインソケット等の用途での使用が近年大きく伸びてきている。しかしながら、Cu または Cu 合金は高い伝導性に優れている反面、鉄鋼材料などと比較して耐久力に劣ることが欠点である。そこで本研究では、HDDR による微細化現象の促進とこれによる Cu-Ti 系薄膜の強度特性向上を念頭に、水素化のエンタルピー変化の違いを考慮し、水素と親和性の小さな Cu の中に IP 法を用いて水素との親和性が大きい Ti の強制固溶を試みることを目的とした。

【実験方法】本研究では、蒸発源の Ti をアーク炉で成型し、球体にした。その後、IP 装置内で溶融させ、抵抗加熱した熱電子放射フィラメントから熱電子を引き出し、加速された熱電子との衝突により蒸発金属をイオン化させ Cu 基板に Ti を蒸着させた。基盤にはニラコ製銅薄膜 0.10mm(純度 99.96at. %)を用いた。組織観察には走査型電子顕微鏡(SEM)を用い、X 線回折法(XRD、管球:Cu-K $\alpha$ )で結晶構造解析を行った。

【実験結果】(a)HDDR 処理前の Cu-Ti 薄膜(b)Ti 薄膜を XRD で解析した結果を Fig. 1 に示した。Ti 薄膜に比べて(211)面での結晶性がよいことがわかった。Fig. 2 は IP 法で生成した Cu-Ti 膜で Cu の界面に沿って Ti が成膜されているのがわかる。

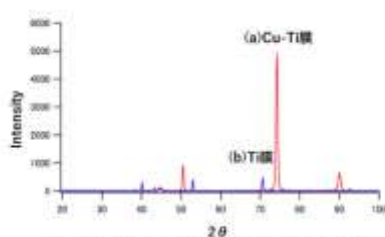


Fig.1(a)Cu-Ti膜(b)Ti膜のXRD結果

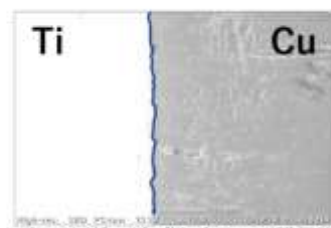


Fig.2 IP法で生成したCu-Ti膜界面

## 【参考文献】

- [1] 沖猛雄、『イオンプレーティングの基礎と現状』、1984 年
- [2] 岡田益男『水素の有効機能と超高圧法による新規水素化合物・新規金属間化合物の合成』2016 年 マテリア 第 5 号
- [3] Grain Refinements of Al-Mg Alloy by Hydrogen Heat-Treatments 2005 The Japan Institute of Metals Atsunori Kamegaw

## 水素を用いた純チタン中の欠陥評価

\*尾高 弘紀(東海大学大学院工学研究科)、常盤 蓮(東海大学大学院工学研究科)、  
金子 新(東海大学理学部物理学科)、瀧本 壽来正(東海大学総合理工学専攻)、  
利根川 昭(東海大学大学院理学研究科)、\*\*内田 ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科)

### 1. はじめに

金属材料を加工する際、圧延や鍛造などの塑性加工法は生産効率の高さなどから広く用いられている。塑性加工に材料に施すことで材料組織の結晶粒微細化によって加工硬化を起こすが同時に加工条件や金属の延性から内部には空孔が生じることが知られている。この空孔は材料内部で応力集中などを引き起こす原因となってしまうため、材料評価において内部の空孔濃度を測定することが重要である。そこで本研究では金属材料内部に水素が固溶して広がる拡散現象を利用して材料内の空孔濃度を評価することを目的としている。一般に、金属材料内部での水素の拡散経路として結晶格子中を通り抜けるように移動する侵入型と、結晶格子の一部としてはまり込み、転位をジャンプしながら移動する置換型の2つに大まかに分けられる。置換型水素は主に材料内部の空孔に留まるものと対応しており、2つの拡散経路のうち侵入型に比べて置換型の方が、水素が移動しにくいという特徴があるためこの特徴を利用して水素透過試験と呼ばれる金属材料中の水素の流れを測定する方法から実験的に空孔濃度の測定および評価を行った。

### 2. 実験方法

試料にはチタン板(0.10 mm、99.5 at.%, TI-453321、ニラコ社製)を用いて、電気化学的に水素透過試験を行った。なお水素透過試験のセッティングとしてポテンショスタット(HA-151B、北斗電工社製)、Ag/AgCl(sat.)参照電極(HS-205C、TOA DKK 製)、を用いており、電解液にはリン酸(85 mass%、和光純薬工業社製)とグリセリン(99.5 mass%濃度、和光純薬工業社製)を体積比1:2の割合で混合したものを用いた。実験条件として定電位0.10 Vで10 s印加後、平衡電位に達するまで待機、この操作を12ステップ繰り返した。この際の導入側と検出側の表面電位の変化を測定し、各ステップまでの総導入水素量と表面電位の変化から空孔濃度の評価を行った。また水素透過試験後の試料に対してTDS測定を行い、温度上昇に対して放出される水素に起因する分圧変化を四重極形質量分析計(QMS)により測定することで、空孔内部に侵入した水素量の評価を行った。TDS測定時の昇温速度は5 °C/minを基準条件とした。

### 3. 結果および考察

本実験にて得られた代表的な結果について記す。透過実験における試料の導入側および検出側の表面電位の時間変化をFig.1に示す。同条件での水素透過試験では、1ステップから4ステップ程度まで検出側の表面電位の変化は見られず、5ステップ目以降の水素吸蔵処理において表面電位の上昇がみられたことから5ステップ以前までの処理で吸蔵された水素は試料中の欠陥に捕捉されたことで検出側へ到達していないことが示唆される。以上の知見を踏まえ、同条件にて本実験を行った。今回の水素透過試験においてチタン板を電解液に接触させてから表面電位が落ち着くまでに12時間程度待機した後、水素吸蔵処理を行っており各ステップにおいて吸蔵されるごとに検出側の表面電位の上昇がみられるため、吸蔵処理が進むごとに検出側に到達した水素の拡散に伴うエネルギー分が表面電位の変化に反映されたと考えられる。また本実験では水素吸蔵処理前に電位の大幅な変動がみられるがこれは実験時の試料表面において衝撃などの外部からの影響によるものと考えられ、実際の表面の平衡電位としておよそ-0.202[V]を初期電位として考えると実験終了時には吸蔵処理後の平衡電位として-0.170[V]にまで変化していることがFig.1から観察できる。さらに透過試験終了後、試料に対してTDS測定を行った結果をFig.2に示す。TDS測定における結果から、水素分子のピークとして温度がおよそ300°Cの位置とおよそ650°Cの位置で確認できる。これは拡散性固溶水素と非拡散性固溶水素のエネルギー差が検出時の温度に反映されたものと考えられ、350 °C付近でのピークが拡散性水素によるもの、650 °C付近でのピークが非拡散性水素によるものであると考えられる。これは置換型水素が拡散性水素に比べ化学的に安定であり置換型水素を取り出すための熱量が大きいため650 °C付近でのピークが置換型水素の検出ピークとみられ、この面積が置換型水素の物質量とみられる。この置換型水素の物質量に対してチタン内部の空孔の存在濃度が対応していると考えられ、本実験をさらに改良することでより精度よく材料中の空孔濃度を実験的に測定することができると考えられる。

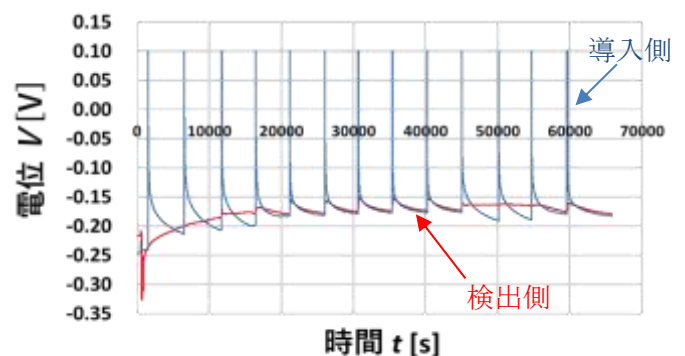


Fig.1 水素透過試験における導入側および検出側における表面電位の時間変化

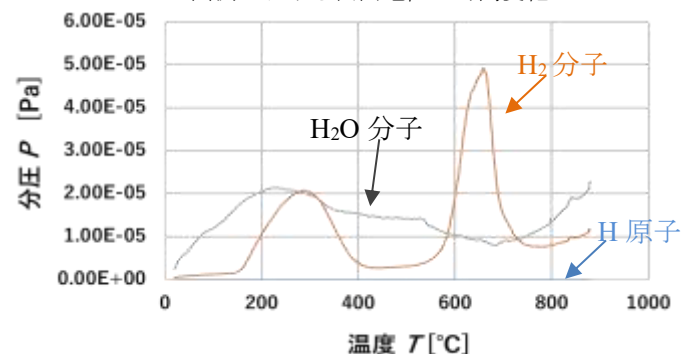


Fig.2 TDS測定における水素原子、水素分子および水分子の温度変化に対する分圧の変化



**Al-50at%Li 金属間化合物の作製及び評価**

\*山本卓(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)

概要原稿なし

メカニカルアロイング法で作製した W-Cr 合金の仕事関数測定

\*加藤謙太郎(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)

取り下げ

メカニカルアロイング法で作製した Cr-W 合金の耐酸化性

\*廣野由佳(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)

概要原稿なし

メカノケミカル反応を活用したスクラップゲルマニウムの再資源化

\*佐藤竜也(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)

取り下げ

スパッターにより形成した  $\text{TiO}_2$  薄膜の結晶シリコン太陽電池 n 型エミッターへの応用

\* 篠崎貴紀 (東海大学工学部電気電子工学科)、\* \* 磯村雅夫、(東海大学工学部電気電子工学科)

## 1. 背景・目的

現在、普及している太陽電池は結晶シリコン系太陽電池である。しかしながら現在の結晶シリコン太陽電池では、高温プロセスが必要等作製プロセスにさまざまな課題があげられる。本研究では、優れた透過性と広いバンドギャップを有する  $\text{TiO}_2$  をスパッタ法により製膜し、結晶シリコン太陽電池の電子輸送層として応用することを目的としている。スパッタ法を用いることで、有毒なガスを用いないため廃棄によるコストの低減や、比較的低温なプロセスで製膜が可能となる。本発表では  $\text{TiO}_2$  を太陽電池に応用するために、 $\text{TiO}_2$  膜の基本的特性を測定し、太陽電池に応用する製膜条件を検討した。

## 2. 実験方法

本実験では RF マグネトロンスパッタ装置を用い、ガラス基板上に  $\text{TiO}_2$  を製膜した。ターゲットには  $\text{TiO}_2$  を用い、スパッタガスには Ar ガスを使用した。 $\text{TiO}_2$  の製膜条件は基板温度  $100^\circ\text{C}$ 、RF 電力 100W を基本的な条件とし、製膜圧力を 1~10Pa と変え製膜を行った。評価方法は分光光度計による透過率、反射率測定から得られた光吸収係数、また二端子法により得られた I-V 特性から電導率の評価を行った。また本実験で得られた結果で最も導電率が高かった 10Pa での製膜条件を採用し、p-Si に  $\text{TiO}_2$  を製膜しダイオード特性が得られるか確認した。p-Si 基板の酸化膜をフッ酸で除去した後、硝酸につけることで薄い酸化膜を付け、 $\text{TiO}_2$  を 10nm 製膜した。その後、 $\text{TiO}_2$  と p-Si の両面に Al 電極を蒸着し電圧電流特性の評価を行った。

## 3. 実験結果

図 1 は横軸を製膜時の製膜圧力、縦軸を導電率でプロットしたものである。導電率が最も高く製膜を行えたのは 10Pa で製膜を行った条件であり、1~5Pa の条件と比べ 5 桁変化したことから製膜圧力が高いほど導電性が良くなることが推測される。しかしながら製膜直後に Al 蒸着を行ったサンプルと製膜直後に Al 蒸着を行わなかったサンプルでは導電率の違いが見られた。このことから製膜後に何らかの劣化が確認できる。一方、光吸収係数からは吸収端が 380nm 程度であり、それよりも長波長側には光吸収が見られなかったため、 $\text{TiO}_2$  本来の特性に従った高い透過性を得られたことが確認できた。最も導電性の高かった 10Pa で p-Si 基板上に  $\text{TiO}_2$  を 10nm 製膜した結果、図 2 のようにダイオード特性が得られたことから n 型エミッターとして機能したことがわかる。

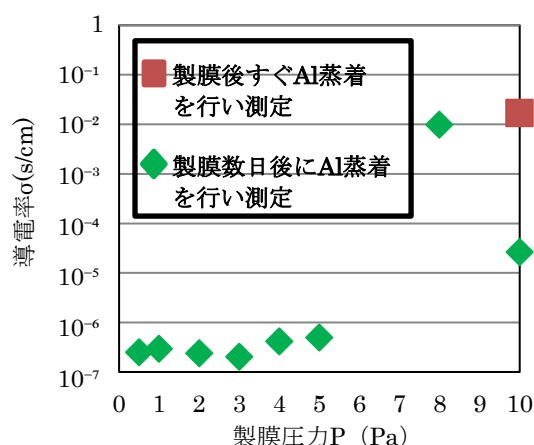


図 1. ガラス基板上に作製した  $\text{TiO}_2$  膜の導電率の圧力依存特性

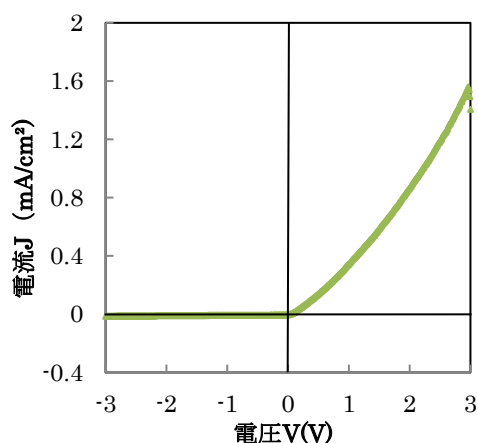


図 2. 100w, 100°C, 10Pa で p-Si 基板上に  $\text{TiO}_2$  10nm 製膜し作製したダイオードの J-V 特性

## Development of flexible perovskite solar cell by a low-temperature fabrication of TiO<sub>2</sub> electron transport layer

\*Nnadi Arthur, \*Alshemeili Mohammed, Sem Visal, \*\*Tetsuya Kaneko, \*\*Masao Isomura (Course of Electrical and Electronic Engineering, Graduate school of Engineering, Tokai Univ.), Md. Shahiduzzaman, Tetsuhiro Katsumata, Koji Tomita (Course of Chemistry, Graduate school of Science, Tokai Univ.)

In the recent years, perovskite solar cells (PSCs) have become an emerging star in a photovoltaic field because of its rapidly enhanced energy conversion efficiency and low-cost solution process [1]. Anatase TiO<sub>2</sub> is commonly used as an ETL of PSCs, but generally requires high temperature sintering (>400 °C) to get a good optoelectrical properties. This becomes a barrier for low-cost and roll-to-roll processes in the mass production because flexible substrates generally require low temperature processes. We employ our original single crystalline TiO<sub>2</sub> nanoparticles with high purity of brookite phase (BK TiO<sub>2</sub> NPs), and could successfully produce planar PSCs with all low temperature processes (<180 °C). Here, we demonstrate the fabrication of flexible PSCs formed on the PEN/ITO substrates covered by the BK TiO<sub>2</sub> NPs.

Figure 1 shows the current density-voltage characteristics (J-V curve) of the PSC formed with the low temperature processes on flexible ITO/PEN and FTO/glass substrates covered by the BK TiO<sub>2</sub> NPs. The PSC on the glass substrates exhibits J<sub>sc</sub> of 20.54 mAcm<sup>-2</sup>, V<sub>oc</sub> of 1.04 V, FF of 70%, R<sub>s</sub> of 47.12 Ωcm<sup>-2</sup> and PCE of 14.92% in reverse scan. On the ITO/PEN flexible substrates, the PSC exhibits J<sub>sc</sub> of 17.09 mAcm<sup>-2</sup>, V<sub>oc</sub> of 0.95 V, FF of 80%, R<sub>s</sub> of 64.29 Ωcm<sup>-2</sup> and PCE of 13.08%. These are relatively high performance in the present structures. Figure 2 shows the incident photon to current efficiency spectra (IPCE) of the PSCs formed on the flexible and glass substrates. The PSC on the glass substrate exhibits relatively high spectral response, which is reflected in the higher J<sub>sc</sub>. The PSC on the flexible substrate exhibits the large reduction in the short wavelength region due to the absorption of PEN. The present work provide us a good finding to realize the low-cost flexible PSCs in the future.

The authors acknowledge the support from Research and Study Project of Tokai University General Research Organization.

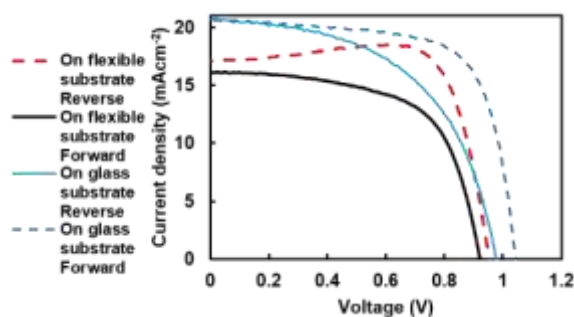


Figure 1 J-V characteristic of PSCs on the glass and flexible substrates. The data were taken from reverse and forward voltage scan.

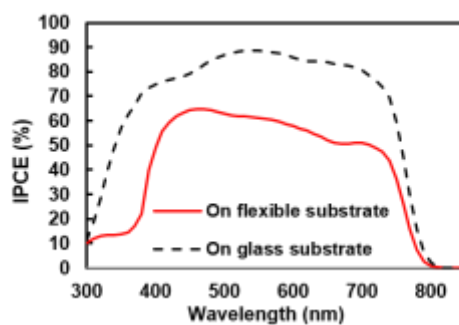


Figure 2 IPCE spectra of PSCs on the glass and flexible substrates.

## 太陽光発電システムにおける需要対応型 MPPT 制御の開発

\*大貫靖一郎(神奈川工科大学電気電子情報工学科) 志賀智至(神奈川工科大学電気電子情報工学科)

遠藤琢磨(神奈川工科大学電気電子情報工学科) 竹田雄亮(神奈川工科大学大学院工学研究科)

\*\*板子一隆(神奈川工科大学大学院工学研究科)

1. まえがき 独立型太陽光発電システムはエネルギーバッファとして蓄電池設備が用いられている。従って、バッテリーが満充電になると太陽光発電を遮断し、バッテリーから負荷に電力供給を行う。しかし、充放電によりバッテリーの劣化が早まるのでその充放電を減らしたい。そこで筆者らは、エネルギーの変動分を太陽光発電システムの制御で対応できる需要対応型 MPPT 制御を提案する。

2. 需要対応型 MPPT 制御方式の動作 需要対応型 MPPT 制御は、負荷電力と同じ大きさの電力を太陽光パネルから直接負荷へ供給する方式である。動作としてスキャン法を用いて太陽電池パネルの I-V 特性を読み取り、常に負荷電力と同じ電力になる動作点電圧で太陽電池パネルを制御することで、バッテリーを介さず、負荷に電力を供給することが可能である。これにより、バッテリーの充放電サイクルを減らすことができる。

そこで、以下に本方式の効果を実験的に検討した。

3. 実験回路 図 1 に、需要対応型制御方式のシステム構成を示す。需要対応型制御システムは昇圧チョッパ回路を用いている。チョッパ回路の入力側は模擬太陽電池を接続し、出力側には電子負荷装置とバッテリーが並列に接続されている。電子負荷装置は定電力 (CP) モードで使用している。DSP は太陽電池の電圧・電流と電子負荷側の電圧・電流をセンサで読み取り、スキャン法により負荷電力と同じ電力になる動作点電圧で太陽電池パネルを昇圧制御する。

4. 実験・結果 図 1 の回路を用い、負荷電力と等しい太陽電池パネル電力をスキャン法により検出して、その動作点が太陽電池パネル電力に追従しているかどうかの確認を行った。このとき、スキャン時間は 100[ms]、スキャン周期は 10[s]としている。図 2 にスキャン時の動作波形を示す。青線は太陽電池パネル電力、橙線は負荷電力の動作波形をそれぞれ示している。同図から、スキャンによって太陽電池パネルの特性を検出し、負荷電力と等しい電力点で追従していることが確認できる。

次に本提案システムの効果を確認するために、電子負荷装置側の電力を変化させたときの太陽電池パネルの電力の測定を行った。図 3 に電子負荷装置側の電力の動作波形を示す。15 秒ごとに電力を 50[W] から 20[W] の範囲で 10[W] ずつ階段状に変化させている。図 4 に太陽電池パネル電力の動作波形を示す。同図から、太陽電池パネル電力は負荷電力の変化に対し追従していることが確認できる。

4. まとめ 本実験により、本提案システムは太陽電池パネル電力を負荷電力の変動に対し追従制御を行えることが確認できた。今後はバッテリーの電圧制御ループを追加し、幅広い負荷変動に対応した制御システムを構築し、本提案システムの有効性を確認する予定である。

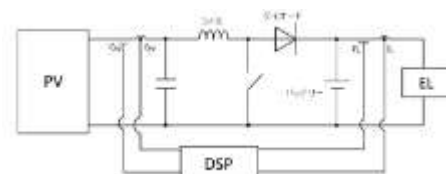


図 1 需要対応型制御システム構成

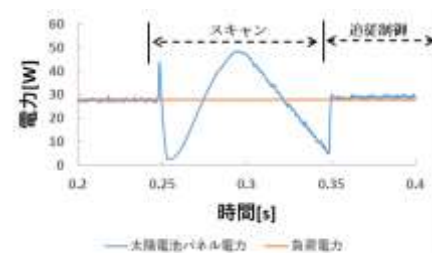


図 2 スキャン時の動作波形

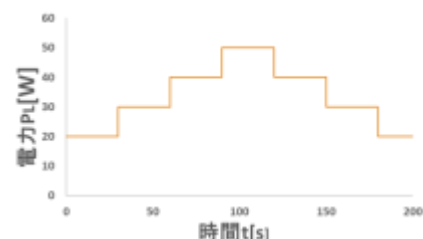


図 3 電子負荷装置側の電力の動作波形

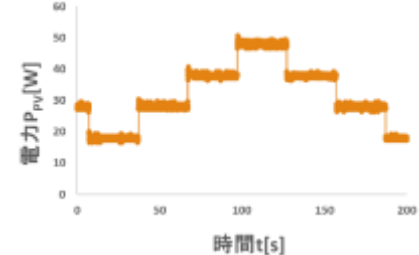


図 4 太陽電池パネル電力の動作波形



## ニューラルネットワークによる高力率単相整流回路

\*藤井陸(神奈川工科大学電気電子情報工学科) \*本多匠(神奈川工科大学電気電子情報工学科)

\*\*板子一隆(神奈川工科大学大学院工学研究科)

**1.まえがき** 単相電圧形整流回路はコンデンサ充電電流に基づくパルス状の電流が入力側に流れるため多量の高調波電流を発生し、配電系統に種々の障害を引き起こす。そのため、高調波抑制対策ガイドラインが設定されるなど、高調波電流を低減することが強く求められている。この規制は今後ますます厳しくなることが予想されるため、高調波電流を大幅に低減し、力率改善できる有効な方法が要求されている。そこで、本研究では、ニューラルネットワークを適用した単相電圧形整流回路の力率改善を検討する。この方法は、リアルタイムで補償電流を最適化するため負荷変動の応答が速くなることが期待できる。

**2.回路構成** 図1にニューラルネットワークによる単相電圧形整流回路の無効電流補償回路を示す。ニューラルネットワークにより無効電流を計算し、その電流源から無効電流を補償することで電源電流波形を正弦波化することができる。図2に適用したニューラルネットワークの概念図を示す。

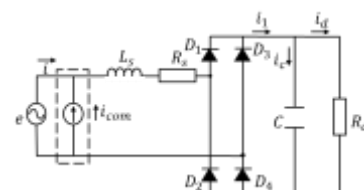


図1 無効電流補償回路

**3.ニューラルネットワークによる補償電流 $i_{com}$ の計算**(1)単相整流回路の入力電流の一般形 $i_{pm}$ 

$$i_{pm}(t_k) = \sum_{n=1}^N \{W_{A(2n-1)} \cos(2n-1)\omega t_k + W_{B(2n-1)} \sin(2n-1)\omega t_k\} \dots (1)$$

ただし、 $t_k(k=0,1,2,\dots)$ はサンプリング時間である。(2)ニューラルネットワークの重み $W_A, W_B$ の導出時刻 $t_k$ における目的関数 $C_k(t_k)$ は以下の式となる。

$$C_k(t_k) = \frac{1}{2} \{i_{pm}(t_k) - i(t_k)\}^2 \dots (2)$$

ここで、 $i(t_k)$ は実際の単相整流回路の入力電流である。最適化のための勾配降下法の基本式は以下となる。 $\eta(0 < \eta < 1)$ は学習率である。

$$\Delta W_k = -\eta \nabla C_k \dots (3)$$

ここで、

$$\Delta W_k = [\Delta W_{A1}, \Delta W_{B1}, \Delta W_{A3}, \Delta W_{B3}, \dots, \Delta W_{An}, \Delta W_{Bn}]$$

**4.シミュレーション結果と諸特性** 図3に単相電圧形整流回路の電流波形を示す。図4に無効電流補償後の電流波形を示す。図から分かるように無効電流補償後は波形を正弦波化することができた。5サイクル以降、負荷を0.5倍にしても追従が確認できる。最終サイクルを用いて調波分析を行ったところ、ひずみ率は84.1[%]から0.00406[%]に、総合力率は0.764から0.998に改善された。

**5.まとめ** 以上の検討から、ニューラルネットワークを用いた単相電圧形整流回路の力率改善効果を数値計算により定量的に明らかにした。



図2 適用したニューラルネットワークの概念図

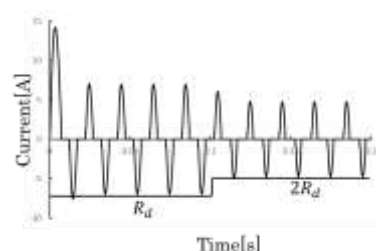


図3 単相電圧形整流回路の電流波形

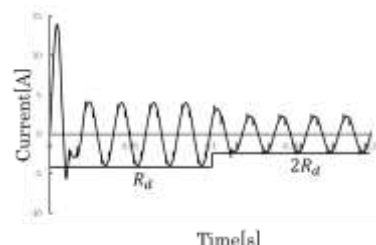


図4 無効電流補償後の電流波形

## A I による太陽光発電システムのホットスポット診断の検討

\*Alhabib Ali(神奈川工科大学電気電子情報工学科)

\*\* 板子 一隆(神奈川工科大学大学院工学研究科)

**1.まえがき** グリーンエネルギーとして注目されている太陽光発電システムの発電効率の向上に関して多くの研究が行われている。しかし、太陽光発電システムにおいて発生する不具合に関する研究は多くない。本研究では太陽光発電の代表的な問題であるホットスポットの検出法を検討している。従来の検出方法では、太陽電池の高温になっているところをサーモグラフィカメラで検知する。本論文では AI を用いて太陽電池の電流と電圧だけでホットスポットを検出する方法を提案している。従来方法ではサーモグラフィとドローンを必要とする一方で、提案方法はインストレーションコストとランニングコストが低いと考えられる。

**2.ホットスポットとは** 太陽電池の製造段階に結晶欠陥が起こったとき、または、パネルが衝撃を受けたときに結晶欠陥が起こる。結晶欠陥のあるセルに影をつけるとそのセルだけが高温になって場合によっては火災にまで発展することがある。高温になったセルの写真を図 1 に示す。

**3.システム構成** 本実験でのシステム構成を図 2 に示す。直列接続された 2 枚の太陽電池ストリングが MPPT デバイスに接続され、電子負荷に接続されている。ストリングの電流と電圧を計測して、PC に入力する。

**4.本実験の AI** Neural network の概念図を図 3 に示す。本実験の AI は入力層と隠層が 90 ノードから構成されている。ホットスポットがあるかどうかを 1 か 0 で出力するような AI なので出力層は 1 つのノードになっている。今回は Adam というソルバーを使用している。

**5.実験方法** まず、ストリング電圧と電流を計測し、PC にデータを入力する。次にデータベースを作成する。データには学習サンプルと実験サンプルの二つの種類がある。AI に学習サンプルを学習させ、実験サンプルでのホットスポットの有無の判定を行う。データ測定するとき、全サンプルは学習サンプルとして記録する。その後そのサンプルをランダムライザーによって学習サンプルと実験サンプルに分ける。学習サンプルからホットスポットの有無情報を除くと実験サンプルとなる。これらのデータの流れを図 4 に示す。

**6.実験結果** 実験結果を図 5 に示す。本実験では AI に学習サンプルを学習させて 30 個の実験サンプルで正解率を確認し、学習サンプルを 30 個ずつ増加させる。学習サンプルの数が 160 個の場合 AI の正解率が 82.3% と好結果となった。

**7.まとめ** 以上の結果から、本実験では日射強度を計測せずに、ストリング電圧と電流のみでホットスポットを AI で検出することが可能であることを実証した。今後は、リアルタイムでの検出システムを構築する予定である。

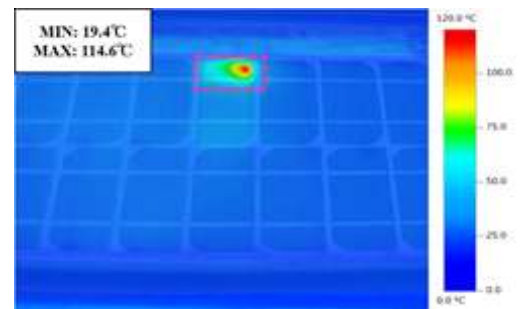


図 1 ホットスポットサーモグラフィ

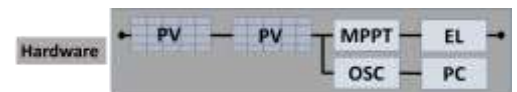


図 2 システム構成 (ハードウェア)

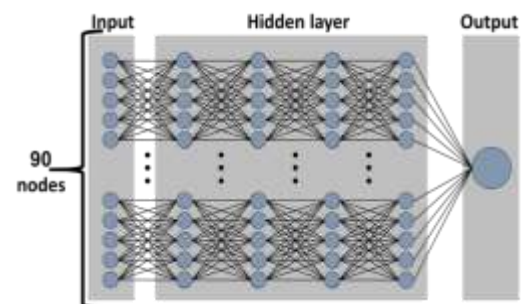


図 3 Neural network の概念図



図 4 システム構成 (ソフトウェア)

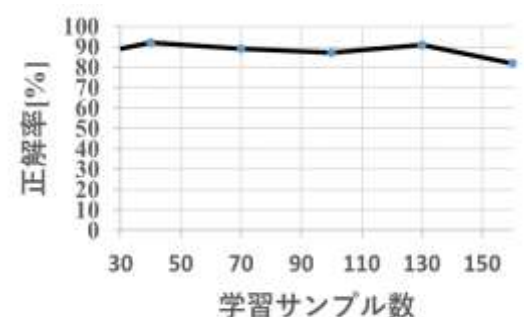


図 5 学習サンプルに対する正解率

## 燃料電池発電システムにおける高効率制御の検討

\* Sumon(神奈川工科大学大学院工学研究科) Muhammad Adib(神奈川工科大学電気電子情報工学科)  
 Muhammad Anuar(神奈川工科大学電気電子情報工学科) Mastura(神奈川工科大学電気電子情報工学科)  
 \*\*板子一隆(神奈川工科大学大学院工学研究科)

1.まえがき 燃料電池(FC)は「環境に優しい」発電方式として近年注目されている。発電の際、発生するものは水のみであり、二酸化炭素は発生しない。また燃料電池自体には駆動する部分がないため、騒音・振動等もなく、環境に良い発電方法である。本論文では FC を最大効率率で動作させる高効率制御方式(MEPT:Maximum Efficiency Point Tracking)を検討する。

2.提案制御方式の動作 図1に提案制御方式でのシステム図を示す。ファラデーの法則から、燃料の反応量と通電量は比例関係にある。従って、燃料使用量の代わりに総合燃料電池電流 $I_{FCT}$ を計算し、効率電圧 $V_e$ を出力電力 $P_{FC}$ と総合燃料電池電流 $I_{FCT}$ を用いて以下の式で定義する。ここで、 $I_{FCT}$ は燃料電池電流 $I_{FC}$ と損失電流 $I_{FCO}$ の和である。 $I_{FCO}$ は燃料電池の開放状態における燃料消費量 $H_0$ [L/min]と、ある $I_{FC}$ に対する燃料消費量 $H$ [L/min]から算出することができる。

$$V_e = P_{FC} / I_{FCT} \text{ [V]} \quad (1)$$

図3に提案制御方式でのモード遷移図を示す。 $V_{eMAX}$ 検出モードは休止モードからシステムが立ち上がる際 $V_{eMAX}$ 検出を行うモード、燃料消費抑制モードは検出した $V_{eMAX}$ で燃料電池を発電させるモード、電力制御モードは $P_L$ が増大した場合に燃料消費抑制モードから遷移し電圧不足を補うモードである。システムが立ち上がるたびに $V_{eMAX}$ 検出を行うため、環境の変化によって特性に変化があったとしても対応することが可能である。

3.実験結果 提案方法の動作を確認するため、本実験では燃料電池模擬装置を使用し、プログラムに手動で負荷や電圧変動を入力した。図4にシステムの動作波形を示す。まず $t_0$ から、効率電圧 $V_e$ が増加する方向に燃料電池電圧 $V_{FC}$ を開放から変化させていくことで最大効率点 $V_{eMAX}$ を検出することができる( $V_{eMAX}$ 検出モード)。最大効率点 $V_{eMAX}$ 点での動作点 $V_{FC}$ を記憶しておき、その後 $t_1$ で検出した $V_{eMAX}$ 点で追従動作を行う(燃料消費抑制モード)。負荷電力 $P_L$ を常に監視し、 $t_2$ では $P_L$ が $P_{FCOP}$ を上回る場合にはただちに負荷電力に応じた電力で動作させることにより電力の不足を回避する(電力制御モード)。 $t_3$ で $P_L < P_{FCOP}$ になると、また燃料消費抑制モードに遷移する。 $t_4$ で $V_L > 25V$ (設定上限値)となった場合には、電圧制御モードになり、FCを休止する。 $t_5$ で $V_L < 24V$ (設定下限値)になった場合、また検出モードとなる。図4の燃料消費抑制モードの $V_e$ が検出モードの $V_{eMAX}$ に非常に近い値となった。電力制御モードが燃料消費抑制モードに変わると $V_e$ が $V_{eMAX}$ に近い値に保たれるので、MEPT動作が行われていることが確認できる。

4.まとめ 以上より、MEPTの正しい動作が確認された。今後は手動入力ではなく、センサーを使用して $V_e$ を測定して完全自動化にした上で、従来のMPPT方式との比較を行う予定である。

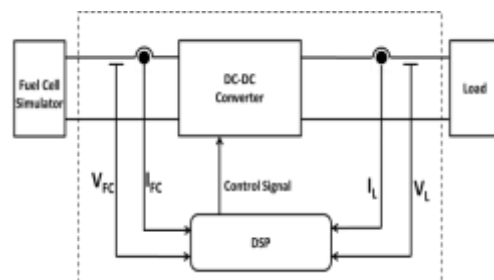


図1. 提案制御方式システム図

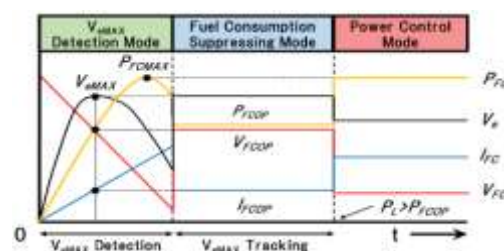


図2. システム動作概念図

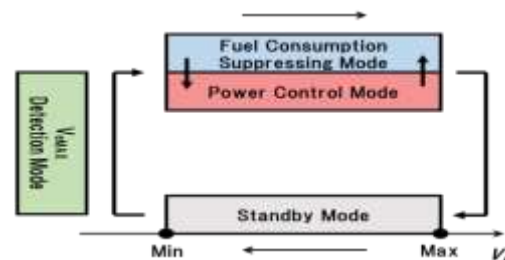


図3. 提案制御方式モード遷移図

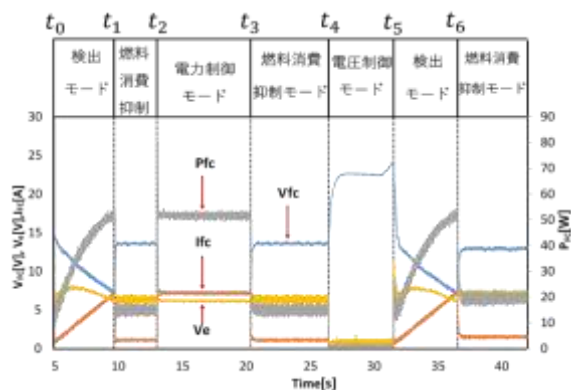


図4. 実験結果

## アクティブ PV アレイの効果の検討

\*竹田雄亮(神奈川工科大学電気電子情報工学科)、佐藤巧(神奈川工科大学電気電子情報工学科)、

傳刀聖(神奈川工科大学電気電子情報工学科) \*\*指導教員 板子一隆(神奈川工科大学電気電子情報工学科)

1.はじめに 太陽光発電システムにおいて PV アレイの一部のパネルに影がかかると、従来の MPPT 制御(山登り法)では、図 1 に示すように、ストリングに複数のピーク点を生じ、各パネルの最大電力の合計( $P_{max1}+P_{max2}$ )を取り出せない問題がある。筆者らは、図 2 に示すように、影の有無にかかわらずストリングの P-V(電力-電圧)特性が理想的になるように制御し、各パネルの最大電力の合計を取り出すアクティブ PV アレイシステムを提案し、シミュレーションにより提案システムの有効性を確認した<sup>[1]</sup>。今回、実験により提案システムの効果を検討したので以下に報告する。

2.PV アレイ構成 図 3 は実験に用いた従来の PV アレイ構成を示している。

図 4 は提案するアクティブ PV アレイの構成を示している。なお、両図とも部分影などによりパネルの日射強度が不均一となっている状態である。提案アレイの PV パネルの出力側にはユニットを接続している。ユニットは昇降圧形 DC-DC コンバータで構成される。初めに全てのパネルの出力が最大となるストリングの最適動作電圧  $V_{PCS0}$  を設定しておく。最適動作電圧は任意に設定できる。string1 に注目すると、それぞれの太陽電池電圧の目標値  $V_{ref}$  は以下の式で算出される。

$$V_{ref1} = \frac{V_{PCS}}{V_{PCS0}} \cdot V_{OP1}, \quad V_{ref2} = \frac{V_{PCS}}{V_{PCS0}} \cdot V_{OP2} \quad (1)$$

ここで、 $V_{PCS}$  は PCS の入力電圧、 $V_{OP1}$ 、 $V_{OP2}$  はスキャン動作により求めた PV1 と PV2 の最大電力点電圧である。ユニットは(1)式を用いてパネル電圧を昇降圧制御する。これにより、各ストリングの最大電力点は最適動作電圧  $V_{PCS0}$  で 1 つ現れる。従って、各ストリングの最適動作電圧が  $V_{PCS0}$  で一致し、PCS の MPPT 制御によりそれぞれのパネルが最大電力で動作する。

3.実験・結果 本提案システムの有効性を確認するために、図 3 と図 4 の従来のアレイと提案アレイを用い、発電電力量の比較を行った。実験は 9:00 から両システムを動作させ、10:00 に図 3 と 4 に示すように、パネルに影を付加し、13:30 まで動作させたときの両システムの電力量を比較した。図 5 は 1 日の発電電力の推移を示している。10:00 に影を掛けた際、提案システムは各パネルの最大電力を取り出しているため、従来のシステムでは、複数の電力ピークによって取り出せていなかった電力が取り出せていることが確認できる。電力量を比較すると、従来のシステムは 289.3[Wh]で、提案システムは 462.5[Wh]になり、従来のシステムに比べ提案システムは 1.60 倍に増加することが確認できた。

4.まとめ 本実験条件では、提案システムは従来のシステムに比べ 1.60 倍の電力量を取り出せることが確認でき、本提案システムの有効性が確認できた。参考文献：[1] K.Itako,Y,Takeda,T.Kudoh, 2019, Proposal of Active PV Array for PV Generation System, Proceedings of ICEE 2019, ICEE19J-057-FP.

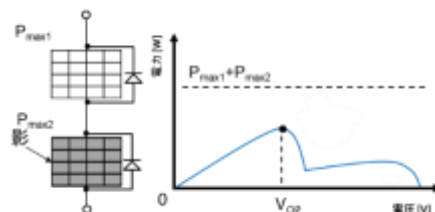


図 1 従来 PV システムの概念図

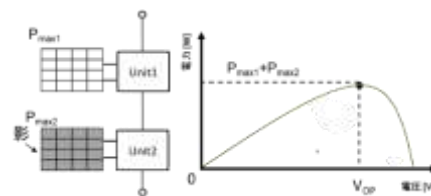


図 2 提案 PV システムの概念図

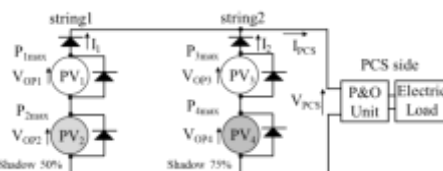


図 3 従来 PV のアレイ構成

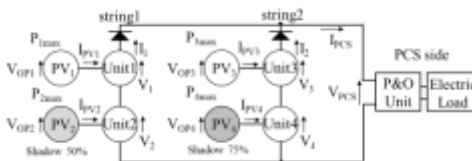


図 4 提案 PV のアレイ構成

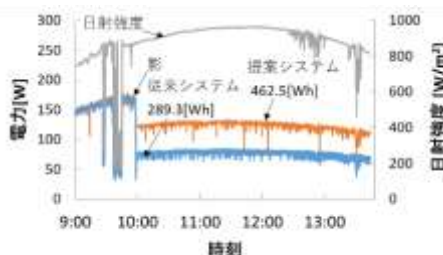


図 5 発電電力の推移



## 磁界共振型非接触電力伝送の実験的検討

\*高田泰成(東海大学工学部電気電子工学科)、谷本浩太郎(東海大学工学部電気電子工学科)、坂元昂平(東海大学工学部電気電子工学科)、加藤 颯(東海大学工学部電気電子工学科)、小林 優太(東海大学工学部電気電子工学科)

\*\*稲森真美子(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1 はじめに

非接触電力伝送とは送信側と受信側で物理的な接触がなく、空間を介して電力を伝送する技術である。本研究では、非接触電力伝送として伝送距離が長くても電力効率が高く、これからの実用化が期待されている磁界共振結合に着目する。

磁界共振結合は送信側と受信側のコイルを同じ周波数で共振させることにより高い効率で電力の伝送を行うことができる[1]。実験システムにおいて、磁界共振結合での入出力電流および電圧を測定し伝送距離における電力効率を求めることにより高効率な無線電力伝送システムの可能性を検討する。

### 2 回路の作製

送信側はCQ出版[2]から出されているMOS FETを対称的に接続するプッシュプル型発振器を使用した。受信側はダイオードとコンデンサで構成された半波倍電圧整流回路となっており、送信側コイルに発生する電圧の2倍の電圧を負荷に加えることができる整流回路となっている。図1に回路図を示す。

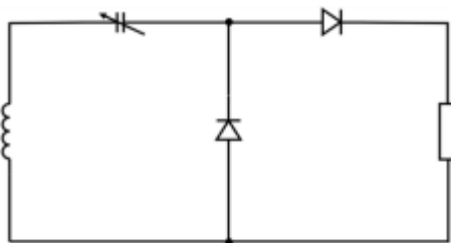


図1 受信側回路図

送受信コイルは直径が80mmの円筒を用い、直径0.6mmのエナメル線を巻いた。巻き数は25回とした。

### 3 伝送距離による入出力電力の変化

図2に伝送距離に対する入出力電力のグラフを示す。伝送距離が長くなると入力電力は増加し、出力電力は減少した。出力電力は伝送距離が60mm以降あまり変化はなかった。本実験では伝送距離を190mmまで測定した。この結果より190mmまでは僅かながらだが、電力を伝送できていることがわかった。

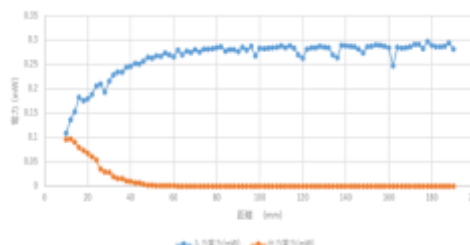


図2 伝送距離に対する入出力電力の変化

### 4 伝送距離による電力伝送効率の変化

図2の結果により次式を用い伝送効率を求めた。

$$\text{電力伝送効率}\eta[\%] = \frac{\text{出力電力}P_{\text{out}}}{\text{入力電力}P_{\text{in}}} \times 100$$

伝送距離に対する電力効率のグラフを図3に示す。電力効率は10mmから60mmにかけて大きく低下し、それ以降は190mmまであまり変化しなかった。10mmから60mmにかけて大きく変化した要因としては、60mmにおいて、出力電力の減少量に比べ、入力電力の増加量が役1.5倍となり増加したためであると考えられる。

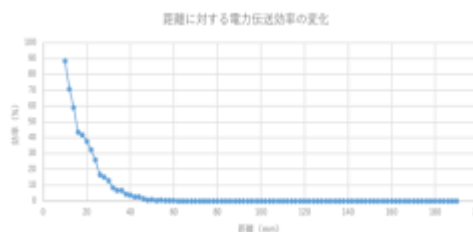


図3 伝送距離に対する電力伝送効率の変化

### 5 結論

本実験では、磁界共振型非接触電力伝送の電流・電圧の入出力特性を確認した。電力効率は伝送距離が伸びるほど低下した。また、出力電圧、出力電圧、出力電流は190mmまでどの値も0にならず、僅かながら電力を伝送できていることがわかった。

#### 参考文献

- [1] 森本雅之, 「電気機器」, 森北出版, (2012)
- [2] 寺前裕司, 「1m 先を狙え! 共鳴式ワイヤレス電力伝送の実験」, CQ 出版株式会社, (2014)

## 振動型ボールミルを用いた LaNi<sub>5</sub> による CO<sub>2</sub> メタン化反応のモニタリング

\*澤原 馨登(東海大学工学部材料科学科)、\*\*源馬 龍太(東海大学工学部材料科学科)

### 【背景及び目的】

近年、地球温暖化の原因となっている二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度が急激に増加しつつあり、この問題をカーボンニュートラルの観点から緩和する一つの方法として、大気中の CO<sub>2</sub> のメタン (CH<sub>4</sub>) 化が挙げられる。しかし、これまでのメタン化プロセスでは Ni ベースの触媒を利用した場合、最低でも 200 °C 以上の高温が必要とされているため、省エネルギーの観点から異なるメタン化プロセス、あるいはより低温で持続的に機能する触媒の開発が望ましい。

先行研究において、遊星ボールミルを用いた水素 (H<sub>2</sub>) と CO<sub>2</sub> 雰囲気下での LaNi<sub>5</sub> 合金粉末のメカノケミカルプロセスにより、加熱なしで CH<sub>4</sub> が正常に生成されることが確認されている。メタン化に用いた粉末についてアトムプローブトモグラフィーによる詳細な元素分析を行った結果、LaNi<sub>5</sub> はボールミル処理により La 酸化物・炭化物と Ni に相分離したことが明らかとなり、これらの化合物がメタン化反応の中間相として作用した可能性が示唆され。未だ不明なことが多いメカノケミカル反応によるメタン化のプロセスについて詳細に調査するためには、プロセス中の圧力変化をその場でモニタリングする必要がある。

本研究では、LaNi<sub>5</sub> による低温下でのメタン生成について、振動型ボールミルを用い、その場ガス分析・ガス圧力計測により検証する。また、反応後の合金の表面状態、組成分析により反応経路を明らかにするとともに、より高効率かつ低温で使用可能なメタン化触媒の探索につなげることを目的とする。

### 【実験方法】

本実験に最適なポットとステンレス球について検討するために、2 種類のポットとステンレス球を用意し、LaNi<sub>5</sub> 粉末を用いてメタン化実験を行った。ポットについては、先行研究で用いたポット (SUS304 製、容積 45 ml) と 90 ml 振動型ボールミル用ポット (SUS304 製、容積 90 ml) の 2 種類のポットを用意した。また、ステンレス球については、先行研究で用いた SUS304 製直径 10 mm 球と、SUS304 製直径 13 mm 球の 2 種類を準備した。

メタン化実験を行う上で、ポット内を 100 Pa 以下まで真空引きをした。その後、水素ガス 51 ml と二酸化炭素ガス 34 ml をポット内部に注入し、内部ガスをガスクロマトグラフ (Shimadzu, GC-14B) により分析した。振動数 12 Hz で 3 時間ボールミリングを行い、内部ガスを再びガスクロマトグラフを用いて分析した。

### 【結果および考察】

図 1 に各組合せでのメタン化の結果を示す。

45 ml ポットと 10 mm 球の組み合わせでミリングを行い、ガスクロマトグラフィーによるガス分析を行った結果、ミリング開始 3 時間で CH<sub>4</sub> の生成を確認した。しかし、90 ml ポットと 13 mm ステンレス球の組み合わせでは 20 時間ミリング後のガス分析でも CH<sub>4</sub> の生成は確認できなかった。

一方で、90 ml ポットと 10 mm 球を用いてミリングを行い 3 時間後にガス分析を行った結果、CH<sub>4</sub> の生成を確認した。メカノケミカル法でのメタン生成には球の大きさの影響が大きいと考えられ、粉体/ボール接触面積やボール総重量と粉体試料量とのバランスが最適でない場合は CH<sub>4</sub> の生成ができないものと推測される。

Table 1 Milling conditions and methanation results

|           | 45ml Pot | 90ml Pot |
|-----------|----------|----------|
| 10mm Ball | ○        | ×        |
| 13mm Ball | N/A      | ○        |

### 【今後の展望】

本実験により、メカノケミカル法でのメタン生成には球の大きさが強く寄与していることがわかった。今後は、90 ml ポットと 10 mm 球を用いて、既に高圧ジューベルス装置と接続し、改造を行った実験装置により実際にその場ガス分析・ガス圧力計測を行う。

## Ge 粉末を用いたボールミリング法による水分解

\*芝野寛了(東海大学工学部材料科学科)、小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科自然環境課程)

\*\*源馬龍太(東海大学工学部材料科学科)

## 【背景・目的】

近年地球温暖化が深刻になり気温、海面の上昇を引き起こしている。その要因の一つである二酸化炭素の削減を進めるために国連気候変動枠組条約などを取り決めて、各国が二酸化炭素の排出削減に取り組んでいる。日本での主な二酸化炭素の発生原因として「エネルギー変換」が最も多いことから[1]、エネルギー変換に使用している燃料を化石燃料から切り替える必要がある。そこで新たなエネルギー変換用の燃料として水素の利用が検討されている[2]。現在、水素の製造には主に水の電気分解が用いられているが、再生可能エネルギーや環境由来のエネルギーによる水素製造が望ましい。そこで本研究では、振動などの散逸しがちな機械的エネルギーを利用した水素製造の可能性に着目した。また、近年、酸化・還元・合金化などの様々な化学反応を機械的エネルギーによって行うメカノケミカル法が注目されており、酸化ゲルマニウムのボールミリングによる Ge への還元が小栗らにより見出されている[3]。そこで、本研究ではまず Ge 粉末と共に水をボールミリングすることによる水素生成の可能性について検討を行った。

## 【実験方法】

ボールミルポット(SUS304 製)に Ge 粉末 0.5 g とステンレス球(SUS304 製)を入れ、内部の真空引きを行った後、蒸留水 15 ml を投入し、He ガス 35 ml を入れ内部を 1 atm にした。遊星ボールミル装置(Retsch, PM 100)を用い、回転速度 280 rpm にて 20 時間ボールミルを行った。ポットを装置から回収し、内部ガスをガスクロマトグラフ装置(SHIMADZU, GC-14B)により分析した。その後、ポット内の粉末試料を回収し、走査型電子顕微鏡(SEM, JEOL, NeoScope JCM-6000Plus)とエネルギー分散型 X 線分析法(EDX)による元素分析を行った後、X 線回折装置(XRD, Rigaku, MiniFlex600)により相の同定を行った。

## 【結果・考察】

ガスクロマトグラフィーによる分析結果を図 1 に、XRD による測定結果を図 2 にそれぞれ示した。図 1 より、水素の生成が確認できるが、同時に生成される酸素は、水分解により予測される量よりも少ないことが示唆された。図 2 より、実験前と実験後の Ge 粉末には大きな違いは無く、実験後のデータと GeO<sub>2</sub> reference と比較しても酸化物の存在は確認できなかった。

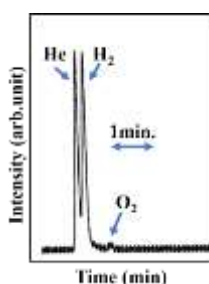


図 1 ガス分析結果

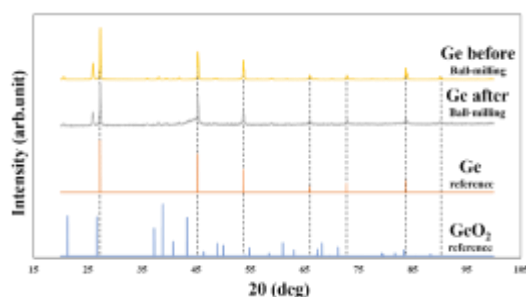


図 2 XRD 分析結果

## 【参考文献】

- [1] 環境省温室効果ガス排出・吸収量等の算定と報告 2016 年
- [2] 平成 29 年度エネルギーに関する年次報告(エネルギー白書 2018)
- [3] Kazuya Oguri, *private communication*.



## スパッタリング法により作製した La-Ni 系合金薄膜上における CO<sub>2</sub> メタン化反応の検討林 諄真 (東海大学材料科学科)、中廣 駿太郎 (東海大学材料科学科)、\*\*源馬 龍太 (東海大学材料科学科)

### 背景

近年、二酸化炭素濃度上昇による地球温暖化や化石燃料の枯渇などが懸念されている。これらの問題への対応策として、大気中の二酸化炭素を原料としてメタンを生成するサバティエ反応が提案されている。しかし、この反応は高温高压状態を必要とするため、外部加熱などを用いない、低温でのプロセスが望まれる。

先行研究で水素と二酸化炭素の混合気体中で La-Ni 系触媒を用いてボールミリングすることより低温低压状態でメタン生成が可能ということが分かっている。しかし、ボールミリングにより SUS304 製ポット内が削れ、ポットの成分と触媒と反応し、La と Ni が相分離を生じ、また、種々の化合物を形成していることが確認された。これらの化合物がメタン生成の中間体となっていることが示唆されたことから、本研究では、表面分析において有利な薄膜に着目し、La-Ni 系合金薄膜における水素と二酸化炭素からのタン生成の検討および、予測される相分離組織について詳細な検討を行なうことを目的とした。

### 実験方法

La-Ni 系合金薄膜を成膜するため、La-Ni のモザイクターゲットを作製した。Ni ターゲット (純度 99.9 % サイズ Φ 76.2 mm 厚さ 1 mm) に La のチップ (純度 99.5 % サイズ 1×7 cm 厚さ 1 mm) を 1×1 cm に切り分け Ni ターゲットに貼り付けた。作製したモザイクターゲットを用いて、DC マグネトロンスパッタリング法により成膜を行なった (Ar ガス流量 : 10 ccm, 出力 : 10 W, スパッタガス圧 : 4 Pa)。その後、成膜した薄膜に対して SEM/EDX (JEOL, JSM-7100F), XRD (PHILIPS, X'pert-MRD) を用いて相の同定、元素分析を行なった。

### 結果及び考察

図 1 に EDX による元素マッピング結果を示す。La と Ni が検出された他、O も検出された O が過剰に検出された原因としてターゲットである La が酸化していたためと考えられる。

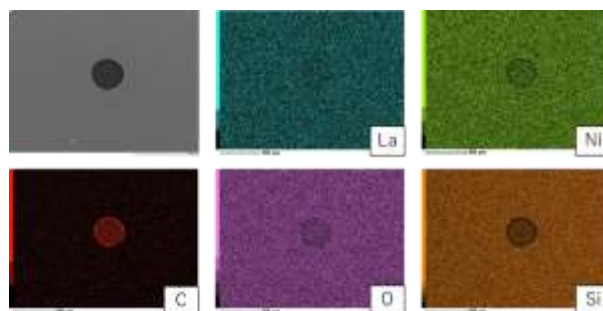


図 1 EDX によるマッピング結果

次に XRD プロファイルを図 2 に示す。Ni のピークが確認された一方で、La のピークは明瞭に確認できなかった。原因として薄膜が薄すぎた為検出できなかった可能性、La が不定比組成の微細な酸化物を形成した可能性が考えられる。

### 参考文献

- [1] High temperature allotropic and thermal expansion of the rare-earth metals F.H.Spedding, J.J.Hanak, A.H.Daane J. Less-Common Met. (1961) 110-124
- [2] Structure and Codeposition Behavior of Ni-W Alloys Electrodeposited from Ammoniacal Citrate Solutions Satoshi OueHiroaki Nakano Shigeo Kobayashi J. Electrochem. Soc. (2009) 156, D17-D22

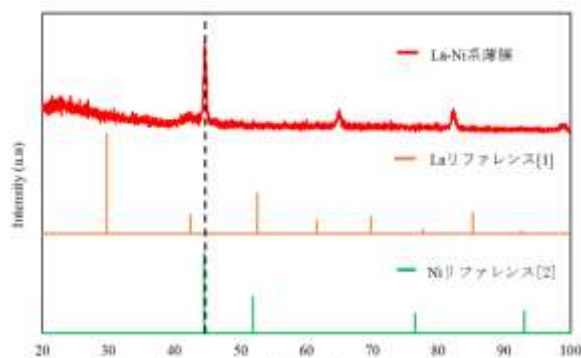


図 2 XRD 測定結果

## 酵素式血糖エネルギー駆動と高分子接合技術を融合した薬物放出システムに関する研究

\*馬 一博、栗原 康司(東京医科歯科大学 医歯学総合研究科)

當麻 浩司、荒川 貴博、\*\*三林 浩二(東京医科歯科大学 生体材料工学研究所)

### 【はじめに】

糖尿病治療では血糖値制御の目的でインスリン療法が用いられ、近年、インスリンポンプも普及しつつある。現在、持続血糖測定(Continuous Glucose Monitoring, CGM)による血糖情報をもとに、インスリン投与量をフィードバック制御にて行う“人工膵臓”が開発されている。しかし、煩雑な操作や外部電源を必要とする等の課題が挙げられる。一方で、生体内で血糖成分であるグルコースの濃度に応じた減圧を行う「グルコース駆動式減圧機構」が開発されている。しかしながら既存のシステムの動作には、糖尿病患者の血糖値の約 2.5 倍のグルコース濃度を要することから、このシステムを血糖値レベルの濃度にて動作させるには減圧性能を向上させる必要がある。また気相部の気密性を高めるためのシリコン製シールや、ネジおよびナットでの機械的接合も構造を複雑化している。本研究では、新規なセル材料として立体加工性を有する PDMS を用いて減圧機構を構築し、その構造を最適化することで、従来型よりも柔軟性と自己吸着性に優れ、ヒトへの装着性を向上させた血中グルコース濃度での駆動を目指した減圧システムの開発を目指した。

### 【実験方法】

PDMS を用いて、減圧機構の構築を行った。最初に PDMS と酵素の固定用高分子である PVA-SbQ と支持材である透析膜との APP 処理による接合を検討した。剥離試験は引張試験機を用いて測定した。試験片を 180 度に関き、つかみ幅を 50 mm 離し、治具に固定した。接合面の剥離、破断した時の荷重を最大応力(N/20 mm)とし、APP 処理の最適な接合条件を求めた。減圧機構の作製では、まずアクリル板と Si ウェハと組み合わせて作製した鋳型に PDMS(重量混合比 主剤:硬化剤 = 9 : 1)を流し込み加熱し、PDMS 製の液相および気相セルを作製した。梁構造の鋳型は CO<sub>2</sub> レーザー加工機にてアクリル板に精密加工を施し、気相セル用の鋳型に組み込み成型した。システムの小型化と高機能化を図るために、改良型のセルの作製を行い、その特性評価を行った。薬物放出システムは、「減圧機構」とその減圧を動力源とする「薬物放出機構」にて構成した。

### 【結果及び考察】

APP 処理した PDMS と PVA-SbQ 膜の接合において、各プラズマ掃引速度(50-400 mm/s)にて剥離実験を行った結果、接合面は剥離せず PDMS 片が破断した。これより、PDMS と PVA-SbQ の異種材料間での接合が確認された。セル材料と酵素膜を直接接合し PDMS セルによる構造を簡素化した。なお従来システムと比べて、気相部容積は増加しているものの、酵素膜面積が大幅に増加し、気相部容積当たりの酵素膜面積比を 8.3 cm<sup>-1</sup>(従来比 1.7 倍)になった。改良型 PDMS 減圧機構では、容積を 1/5 倍に低減し、また気相部容積を小さくすることで、気相部容積当たりの酵素膜面積を従来系と比べ、1.8-2.1 倍増加した。上述での減圧機構の単独使用と比べて、減圧速度は約 1/2 倍となった。今後、圧力開放機構および逆流防止機構を小型化し、薬物放出機構に組み込むことにより、システム全体の簡素化および高性能化が可能だと考えられる。

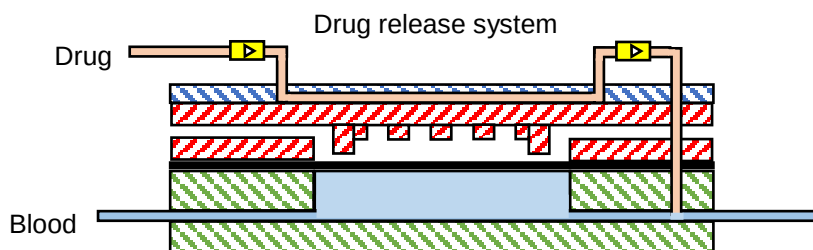


図.1 薬物放出システムの構造図

## 車輪移動型ロボットのための速度ベースメカニカル安全ブレーキの開発 (設計及び動作確認実験)

\*佐藤 喜昭(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、遠藤 嘉康(東海大学工学部機械工学科)、  
三島 弘希(東海大学工学部機械工学科)、\*\*甲斐 義弘(東海大学工学部機械工学科)

### 1. 緒言

近年、人の近くで人の生活を支援する人間共存型ロボットの研究開発が活発に行われている[1]。これらのロボットは、制御用コンピュータの故障やバッテリー切れなどにより制御不能となり、高速度で人と衝突する危険性が考えられる。そのため、たとえロボットが制御不能となったとしても人に対する安全性を確保することが重要である。

この問題に対して、甲斐らはこれまでに受動的機械要素のみで構成された速度ベースメカニカルロック装置を提案してきている[2]。本ロック装置はロボットの駆動軸に搭載され、ロック装置側で予め設定したレベル（以下、検知速度レベルと呼ぶ）以上の角速度で駆動軸が回転すると、全モータの電源を切り、駆動軸の回転をロックする。しかし、本ロック装置を車輪移動型ロボットに用いた場合、坂道においてロック装置が作動すると、駆動軸を急激に停止させるためロボットが転倒する可能性がある。

そこで本研究では、検知速度レベルが検知された後、駆動軸の角速度を緩やかに減速させ、最終的に駆動軸を停止させる速度ベースメカニカル安全ブレーキの開発を最終目標とし、本稿ではその設計及び動作確認実験について述べる。

### 2. 速度ベースメカニカル安全ブレーキ

図1に示すように本安全ブレーキは、速度ベースメカニカルロック装置、ハウジングA、ハウジングB、トルクキーパ、トーションばねA、シャフトAから構成されている。駆動軸が検知速度レベル以上の角速度で回転すると、まず、速度ベースメカニカルロック装置によってロボットの電源が切られ、トルクキーパとトーションばねAがロボットの駆動軸に作用することで、緩やかに駆動軸の角速度を減速させ、最終的に駆動軸を停止させる仕組みになっている。

### 3. 動作確認実験

図2に示すような速度ベースメカニカル安全ブレーキを製作し、安全ブレーキが目的通り動作するか否かについて実験により検証した。実験は速度ベースメカニカル安全ブレーキを車輪移動型ロボットに搭載し、坂道をロボットの自重で走行させて行った。実験結果についてはシンポジウム当日に示す。

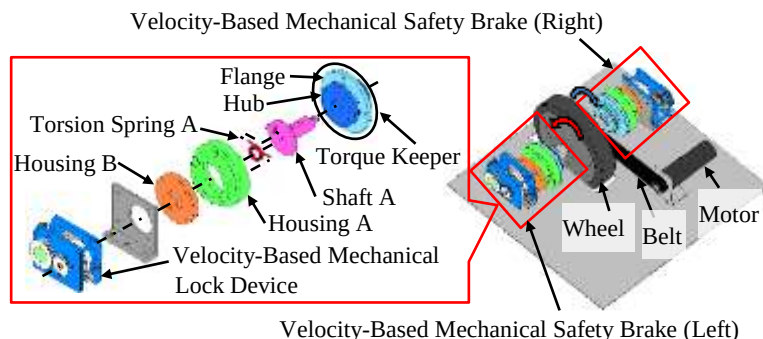


Fig. 1 Velocity-Based Mechanical Safety Brake

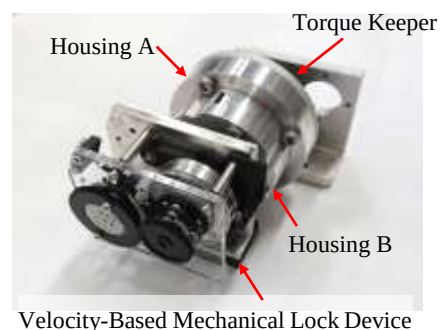


Fig. 2 Developed Velocity-Based Mechanical Safety Brake

### 4. 結言

本研究では、検知速度レベルが検知された後、緩やかに駆動軸の角速度を減速させ、最終的に駆動軸を停止させる速度ベースメカニカル安全ブレーキの設計及び動作確認実験を行った。今後は、より詳細な実験によりその有効性について検証を行う予定である。

### 5. 謝辞

本研究の一部は、神奈川県立産業技術総合研究所およびJSPS 科研費 18K04056 の助成により行われた。

### 参考文献

- [1] 経済産業省, 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO, “2035 年に向けたロボット産業の将来市場予測”, (2010), pp.1-5.
- [2] Y. Kai, “Development of a walking support robot with velocity-based mechanical safety devices”, in Proc. of 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), (2013), pp. 1125-1130.

## 小型水素ロータリーエンジンの制御性向上に向けた燃料噴射時間の変更

\*里川翔一(東海大学工学部機械工学科) \*\*神崎昌郎(東海大学工学部機械工学科)

### 1. 緒言

近年、地球温暖化や化石燃料の枯渇問題を解決するために再生可能エネルギーである水素を燃料とした内燃機関の開発が進められている<sup>1)</sup>。本研究では水素燃料と異常燃焼しにくいロータリーエンジンを組み合わせた、20cc 水素ロータリーエンジン (HRE) の開発を目指す。先行研究において一定回転数での長時間運転に成功しているが、任意回転数での運転には成功しておらず、制御性が低いことが課題である。本研究では 20cc HRE の制御性向上を目的とし、ECU 上における燃料噴射時間の変更により、任意回転数での運転を目指す。

### 2. 実験方法および実験結果

目標回転数はスロットル開度 10 % の時 4000 rpm、70 % の時 5000 rpm、100 % の時 6000 rpm とし、回転数を変化させた。運転時間は各回転数に対し 60 秒とし、水素の過給を抑制するため、スロットル開度を 10 秒かけて変更した。

燃料噴射時間はエンジン回転数およびスロットル開度に対して設定するものである。回転数 500 rpm 毎およびスロットル開度 10 %、70 %、100 % に対し燃料噴射時間を設定した。任意回転数での運転を目指すため、目標回転数より実回転数が低い場合は燃料噴射時間を短く、目標回転数より実回転数が高い場合は燃料噴射時間を長くなるよう設定した。

Fig. 1 に回転数 500 rpm 毎に燃料噴射時間を設定した際の回転数変化を示す。各開度において回転数の制御には成功したが、任意回転数での運転には至らなかった。要因としては、実回転数上昇および低下に対し、回転数 500 rpm 毎に設定した燃料噴射時間では燃料噴射の制御性が低く、燃料供給量が適正化でなかったため目標回転数と実回転数の誤差が大きくなったと考えられる。そのため、燃料噴射時間を回転数 100 rpm 毎に細かくし変更することによって、再度任意回転数での運転を目指した。

Fig. 2 に回転数 100 rpm 毎に燃料噴射時間を設定した際の回転数変化を示す。各開度において回転数の制御および任意回転数での運転に成功した。要因としては、燃料噴射時間の設定を細かくしたことによって、燃料噴射の制御性が向上し、燃料供給量が適正化され目標回転数と実回転数の誤差が小さくなったと考えられる。

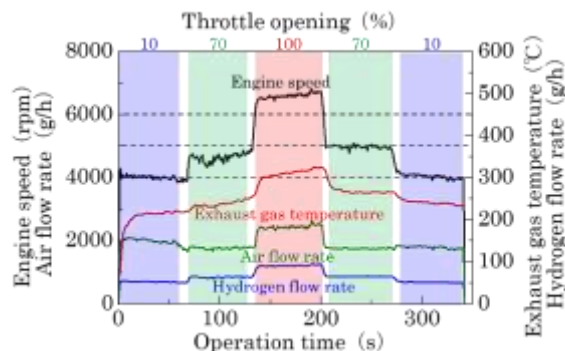


Fig. 1 Change in engine speed when setting injection time at every 500 rpm

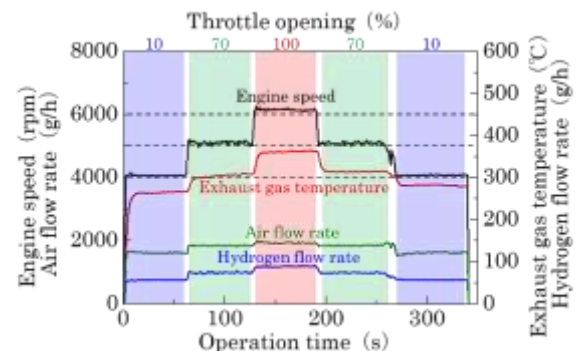


Fig. 2 Change in engine speed when setting injection time at every 100 rpm

### 3. 結言

本研究では 20cc HRE の制御性向上を目的とし、ECU 上における燃料噴射時間の変更によって任意回転数での運転を目指した。その結果、燃料噴射の制御性が向上し、燃料供給量が適正化された。そのため、目標回転数と実回転数の誤差が小さくなり、任意回転数での運転に成功した。

### 4. 参考文献

[1] 昼間勝、水素エンジンの燃焼特性、Vol. 57、No. 5、pp. 336-345、(1978)



## 円管内部における流動解析と流動可視化の比較による数値解析手法の確立

\*鈴木僚(東海大学工学部機械工学科) \*\*神崎昌郎(東海大学工学部機械工学科)

### 1. 緒言

近年、化石燃料の枯渇によるエネルギー問題、地球温暖化による環境問題が議論され、その中でも自動車などの動力源から排出される排気ガスが問題となっている。これらの問題を解決するために、当研究室では燃焼時に水を生成し再生可能エネルギーである水素を燃料とした動力源の研究を行っている。

当研究室では、環境調和型動力源の開発を目的とし、水素を燃料とした 20cc ロータリーエンジン (HRE) の開発を目指している。先行研究において、一定回転数 (4000 rpm) における 2 時間以上の長時間運転に成功しているが、短時間で回転数が大きく変動する問題がある。原因として、混合気の供給量が安定せず回転数が大きく変動したと考えられる。そこで、これまでの研究において混合気を安定的に供給するために、20cc HRE へ混合気を供給する機構 (水素供給機構) の内部流動を解明し数値解析による流動解析を行った。しかし、流動の可視化による流動解析の検証が行われていない問題がある。そのため、水素供給機構内部における数値解析手法の確立に向けて、簡易モデルでの白煙を用いた流動の可視化と数値解析による流動解析を行い、空気流動を比較した。

### 2. 実験方法および実験結果

本実験では、簡易モデルとして水素供給機構の排気口径と同じ内径 10 mm のアクリルパイプを用いて可視化実験を行った。Fig.1 に可視化実験概略図を示す。空気流動の可視化にはスモークマシンの白煙を用いて、白煙の流れによる流動の解明を行った。マスフローコントローラを用いて 100 cc/min の空気を供給した後、サージタンク内で白煙と空気を混合させ、アクリルパイプへ供給した。アクリルパイプに対して上部からレーザシートを照射することで白煙を認識可能とし、側面からハイスピードカメラを用いて白煙の移動によって空気流動を撮影した。また、数値解析では、円管内部を模擬した解析モデルを作成し、可視化実験と同様に供給量 100 cc/min の空気を解析モデルへ供給し、流動解析を行った。

Fig.2 に空気流動の可視化結果を示す。白煙を用いたことにより一様な空気流動を可視化した。Fig.3 に空気流動の数値解析結果を示す。また、数値解析における空気流動は一定方向に流れていた。このことから可視化実験における空気流動と比較して、同様な空気流動であったと考えられる。

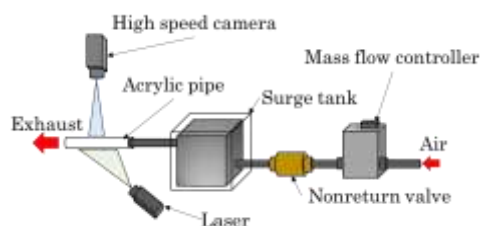


Fig.1 Schematic diagram of visualization experiment

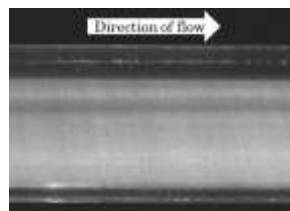


Fig.2 Visualization result of air flow

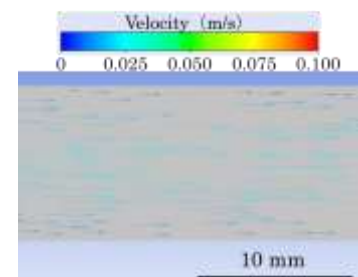


Fig.3 Numerical analysis result of air flow

### 3. 結言

数値解析における流動解析に向けて行った簡易モデルの流動解析と流動の可視化を行い、空気流動を比較した。その結果、可視化実験における空気流動は一様な空気流動を示した。また、数値解析における流動解析も一様な空気流動を示した。このことから、流動解析と流動の可視化は同様な空気流動であったと考えられる。今後は定量評価による空気流速の比較を行う。

## ドリリングロボットによる切削加工の優位性評価

\*細谷 匠（東海大学 工学部 機械工学科）、武井 雛太（東海大学 工学部 機械工学科）

村山 省己（TSF 自動化研究所）、金子一彦、瀬戸幸治（三宝精機工業株式会社）、鈴木利幸（ちよだ工機株式会社）

\*\*神崎 昌郎（東海大学 工学部 機械工学科）

### 1. 緒言

近年、製造業では IoT 技術などが注目される中で産業用ロボットの需要が急速に高まっている。産業用ロボットの役割は搬送をはじめ多くの生産ラインで活用されている。

しかし、切削加工をロボットで行う‘ロボット加工’の実用例は極めて少ない。

ロボットの活用の多様化に対する取り組みの低さが主な要因の一つと考えられる。金属加工により機械部品などを製作する場合、その多くは高い精度を要求される。従って、その要求を満たすには高い剛性を有する工作機械が必要であるため、工作機械ほどの剛性を有していない垂直多関節ロボットによる金属加工は難しいと考えられる。しかしながら、加工精度をあまり要求しない穴あけ加工などに適用することは可能である。ドリリング加工が可能なロボットの実用化により 5 軸 NC 機等の中・大型工作機械でのみ可能であった 3 次元の加工が省スペースかつ低コスト化で実現可能であり、変種変量生産に対応できると考えられる。



図1 ドリリングロボット

穴あけ加工は、機械部品、特に自動車部品等において他の加工に比べて非常に高い割合を占めているため、ドリリング加工におけるロボットの活用には十分な優位性があると考えられる。そこで、本研究では、ロボットを活用した小型機械部品の穴あけ加工をターゲットとした「ドリリングロボット」を提案し実用性の評価を検証する（図 1）。

垂直多関節ロボットの先端に取り付ける超小型のスピンダルユニットを開発しロボットに装着し、実機加工の結果をもとに工具径と切削条件からロボット加工における加工精度を評価し実用化のレベルを明確にする。

### 2. 研究内容

本開発機におけるスピンダルユニット（図 2）の構造は、当研究室で先行研究として設計開発を行った超小型 NC 機の主軸を基本構造に設計を行った。主軸サイズは超小型 NC 機と同様、生産ラインにおいて汎用性が高く小型汎用機に多く採用されている BT30 を用い開発を行った。また、主軸駆動には任意の回転数に制御することができるよう小型で高出力の AC サーボモーターを用いた。本開発によるスピンダルユニットを垂直多関節ロボットの先端に取り付けることにより、5 軸制御による傾斜軸の穴あけ加工を



図2 スピンダルユニット

はじめとした複合加工が可能なドリリングロボットとして開発した。本研究では、ドリリングロボットの性能を評価するためアルミ材の穴あけ加工実験を行う。ドリリングロボットを用いて、アルミ材をφ10の穴あけ加工を行い、各穴の穴位置、穴径を計測し工程能力指数を算出し評価を行う。マイクロメータ及び3次元測定機を用いて各加工条件における加工精度の測定を行う。穴あけ工程における加工条件においては工程能力指数（C<sub>p</sub> 値）1.33を下回る結果となったが、ロボットの性能を示す可搬重量、剛性から判断するとロボットにおける穴加工の実現が可能であることが確認できた。穴加工におけるロボットの選定においては、ロボットの剛性、すなわち動的精度を定量的にとらえ穴加工時に発生する推力に対する剛性を見極めた上でロボットの選定を行うことが必要であるが検証結果から確認できた。

### 3. 結言

実用化に向けては、切削工具の食い付き時の切削性を良くするための刃具選定と切削条件の適正化を図り安定した加工を実現することが重要であり同時に、穴加工の推力に対応した適正なロボットを選定することが必要である。

## 摩擦係数 0.01 を示す潤滑性硬質膜のホウ素過剰添加による使用可能温度拡大

\*大和航(東海大学工学部機械工学科) \*\*神崎昌郎(東海大学工学部機械工学科)

### 1. 緒言

昨今、化石燃料の枯渇や温室効果ガスの増加から自動車用エンジンの高効率化が求められている。そのため、フリクションロス低減による高効率化を目的とし、高温となるエンジン内部で使用可能な高耐熱性を有する潤滑性硬質膜をエンジン摺動部に成膜することでエンジンの低燃費高効率化を目指す。先行研究において試験温度 200 °C、無潤滑環境において摩擦係数約 0.01 を示す  $\text{TiB}_2\text{-MoS}_2$  複合膜を創製した。この低摩擦現象を超低摩擦特性と呼称する。現在、 $\text{TiB}_2\text{-MoS}_2$  複合膜の抱える問題として超低摩擦特性は試験温度 500 °C において発現しない事がある。要因としてホウ素と硫黄が脱離していることから超低摩擦特性を発現する組成を維持できていない。本稿ではホウ素を過剰添加して  $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  複合膜を創製することでホウ素の脱離抑制、複合膜内部の酸化防止によって硫黄の脱離を抑制することで超低摩擦特性発現温度の拡大を目指す。

### 2. 実験方法および実験結果

$\text{TiB}_2\text{-MoS}_2$  複合膜と  $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  複合膜をマグネトロンスパッタリング法にて成膜した。 $\text{TiB}_2\text{-MoS}_2$  複合膜成膜時の使用ターゲットは  $\text{TiB}_2$  と  $\text{MoS}_2$  を用いた。また、 $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  複合膜成膜時の使用ターゲットは  $\text{TiB}_{2+30\text{wt.\%B}}$  と  $\text{MoS}_2$  を用いた。基材には Si 基板を使用し、膜厚が 1  $\mu\text{m}$  となるよう成膜条件を設定した。大気加熱処理は加熱温度 500 °C にて 60 分間行った。大気加熱処理後に試験温度 200 °C、無潤滑環境にてボールオンディスク式摩擦摩耗試験を行った。なお、組成分析は大気加熱処理の前後に行った。

Table 1 に大気加熱処理前の  $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  複合膜の組成を示す。 $\text{TiB}_2\text{-MoS}_2$  複合膜のホウ素含有量は 47 % であり、B/Ti 比が 2.5 となった。 $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  複合膜のホウ素含有量は 47 % であり、B/Ti 比が 5.8 となった。このことから、 $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  複合膜を  $\text{TiB}_{5.8}\text{-MoS}_2$  複合膜と呼称する。

Fig. 1 に大気加熱処理後の摩擦摩耗試験結果を示す。 $\text{TiB}_2\text{-MoS}_2$  複合膜において超低摩擦特性を発現しなかった。一方、 $\text{TiB}_{5.8}\text{-MoS}_2$  複合膜は超低摩擦特性を発現した。

Table 2 に大気加熱処理後の  $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  複合膜の組成を示す。大気加熱処理を行ったことにより  $\text{TiB}_2\text{-MoS}_2$  複合膜のホウ素、硫黄が脱離していた。一方、 $\text{TiB}_{5.8}\text{-MoS}_2$  複合膜においてはホウ素、硫黄がわずかに残留していた。このことからホウ素の過剰添加によって複合膜内部にホウ素が残留し、複合膜の酸化を抑制したことで硫黄が脱離しなかった。これによって 500 °C 加熱後においても超低摩擦特性を発現可能な組成を維持することができたため、超低摩擦特性発現温度を拡大することができた。

Table 1 Composition of  $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  composite films

| $\text{TiB}_{2+\alpha}$<br>target | Composition (at.%) |    |    |    |   |
|-----------------------------------|--------------------|----|----|----|---|
|                                   | Ti                 | B  | Mo | S  | O |
| $\text{TiB}_2$                    | 17                 | 47 | 24 | 12 | 0 |
| $\text{TiB}_{2+30\text{wt.B}}$    | 8                  | 47 | 28 | 13 | 4 |

Table 2 Composition of  $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  composite films after heating at 500 °C

| $\text{TiB}_{2+\alpha}$<br>target | Composition (at.%) |   |    |   |    |
|-----------------------------------|--------------------|---|----|---|----|
|                                   | Ti                 | B | Mo | S | O  |
| $\text{TiB}_2$                    | 17                 | 0 | 25 | 0 | 58 |
| $\text{TiB}_{2+30\text{wt.B}}$    | 11                 | 8 | 28 | 3 | 50 |

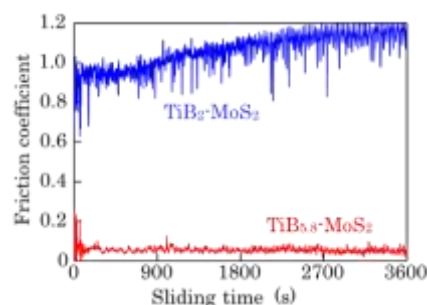


Fig. 1 Friction coefficient of  $\text{TiB}_{2+\alpha}\text{-MoS}_2$  composite films after heating at 500 °C

### 3. 結言

本稿では  $\text{TiB}_2\text{-MoS}_2$  複合膜にホウ素を過剰添加することで 500 °C 加熱後も超低摩擦特性を発現する組成の維持を目指した。ホウ素の過剰添加によってホウ素、硫黄の脱離が抑制され、500 °C 加熱後においても超低摩擦特性を発現する組成を維持し、超低摩擦特性発現温度を拡大した。今後は超低摩擦特性発現のメカニズムを解明し、超低摩擦特性発現に必要な組成を維持することでより高温の環境においても超低摩擦特性発現を目指す。



## 超音波振動によるネジ緩み検査システムの高精度化に向けた影響度調査

\*川崎春久(東海大学 工学部 機械工学科)、村山省己(TSF 自動化研究所)

\*\*神崎昌郎(東海大学 工学部 機械工学科)

## 1. 緒言

工業製品等の組立に多用されるネジについて、緩みによる事故を事前に防ぐための様々な検査方法がある。しかし、現状ある方法では正確かつ簡便な方法がない。その解決策として先行研究では機械インピーダンスとパターン認識を組合せる検査システムを開発した。(1)その後、測定条件の調査としてばらつきへの対処、測定時間の短縮、小径ネジの測定やネジへの押付荷重に関する研究が進められた。これに続く研究として本研究では、小径ネジでの押付荷重変化による影響を測定値より検証し、より高精度な検査を可能とする検査システムの実現を目指す。

## 2. 実験方法

小径ネジとして SUS304 製の M5 六角ボルトを使用する。ネジは S45C 製の母材に固定しその上からプローブを押し当て、加振することで測定を行う。加振周波数は 40~80[kHz]で、このうち 63~65[kHz]において規則的な波形が観察できたのでこの周波数域に絞って判別を行う。母材へのネジの固定では締結状態を表 1 のトルク表に従って変化させ、それぞれの締結トルク値で得られる機械インピーダンスより締結状態の判別を行う。ネジへの押付荷重は重りによって変化させることができ、0.7~9.7[kgf]の範囲で 1[kgf]刻みで、各荷重ではすべての締結状態で 3 回測定し、10 段階の荷重それぞれで見た緩みの判別結果により最適な押付荷重を決定する。

## 3. 結果

本実験の計測域における波形を押付荷重 4.7[kgf]を例に図 1 で示す。この波形のうち共振点ピークの周波数、インピーダンスの値を各荷重の間で比較したものを周波数を図 2、機械インピーダンスを図 3 として示した。ここでの値は 3 回測定した数値の平均値である。これらの図からは押付荷重 4.7[kgf]での規定トルクと不足トルク 1 の数値の差が 2 つの数値データを合わせると最も大きくなることが確認できたので、M5 での最適押付荷重を 4.7[kgf]と決定した。この結果を基に、押付荷重 4.7[kgf]をばね力により発生する機構を備えたハンディ型測定器を製作した。(図 4)

## 参考文献

- (1) 渡辺 貴、岡道 航平 “超音波振動を利用した新しい技法におけるねじの緩みの検査システムの研究”  
SAS2017 論文 東海大学 渡辺 貴、岡道 航平

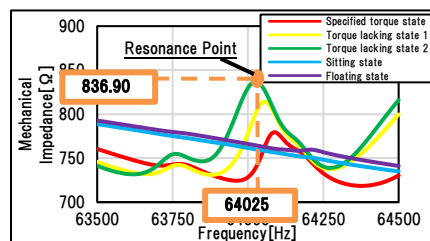


Fig1. Waveform of mechanical impedance at resonance point

Table1. Fastening torque value

|    | Specified torque state | Lack of torque state |       |         |          |
|----|------------------------|----------------------|-------|---------|----------|
| M5 | 3.0Nm                  | 2.0Nm                | 1.5Nm | Sitting | Floating |

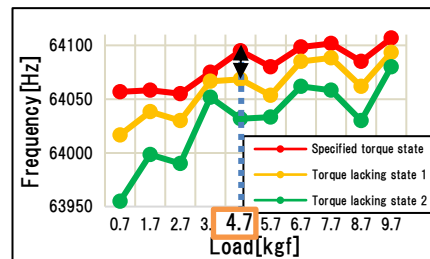


Fig2. Difference of frequency at peak by added load

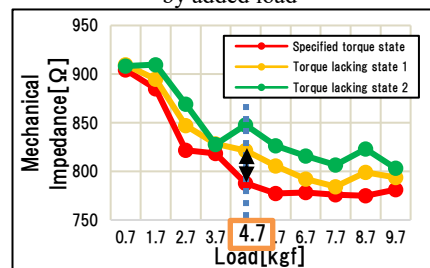


Fig3. Difference of mechanical impedance at peak by added load



Fig4. Handy type measuring instrument

## 切削加工における加工条件最適化へのニューラルネットワーク適用の提案

\*フロン マキシム(東海大学 工学部 機械工学科)、胡 シン(東海大学 工学部 機械工学科)、  
 松本 敏幸(東海大学大学院 工学研究科 機械工学専攻)、青木 俊(東海大学大学院 工学研究科 機械工学専攻)、  
 村山 省己(TSF 自動化研究所)、\*\* 神崎 昌郎(東海大学 工学部 機械工学科)

### 1. 緒言

近年、日本の製造分野における課題の一つに労働者一人当たりの生産性が先進国の中で低いことが挙げられる。この要因の一つに量産工場の自動化の遅れがあると考えられる。自動化を進める為には、安定的かつ高品質な製品の生産を可能にする加工条件の最適化と不良品を出さないための品質の傾向管理による加工精度自動修正が不可欠である。

本研究では加工条件の最適化を図ると同時に加工中の切削工具の折損時における連続自動運転の実現を目的とし、ミーリング加工時の切削条件と表面性状の調査を行い、工具折損状態における加工条件変更による連続加工が可能な加工精度の修正を実験的に試みた。また、品質を安定的に保ち継続的に生産可能な加工条件導出のためにAIを活用し、機械の状態と加工精度等のデータに基づき、対象機械に適合した加工条件の最適化を目指す。

### 2. 研究内容

本実験の加工には、我々が開発した超小型NC機を使用し、ミーリング加工を行い、工具の折損なしとありの時の表面性状を調査した。工具には2枚刃のφ10 エンドミル(超硬合金)を使用し、片方の刃を長手方向に0.5[mm]研削することで、疑似的に折損した状態を作り出し加工を行った。図1に切削条件と表面性状の関係を示す。この時の主軸回転数は637[rpm]である。刃先折損ありの場合は、折損なしに比べて送り速度254[mm/min]では表面性状が約1.7倍大きい結果となった。また、折損ありの加工において、送り速度は変化させず主軸回転数を2倍に修正後加工を行ったところ、表面性状がRa3.0からRa2.0に改善され、折損なしの場合の加工精度(Ra1.8)と同程度の精度で加工することができた。

本研究において加工条件の最適化にはニューラルネットワークを使用する。ニューラルネットワークは図2のように入力層(機械の状態、加工精度)、隠れ層、出力層(最適化された加工条件)から構成されている。最適化された加工条件とは、要求された工程能力指数で生産することが可能であり、対象機械に適合した安定的な生産が継続可能な条件を指す。

### 3. 結言

本研究では、品質を安定化させ切削加工における加工条件最適化の第一歩として、疑似的に加工条件の修正による加工精度の改善を試みた。実験により、切削速度20[mm/min]において工具の刃先折損による表面粗さの劣化が、加工条件の修正によって刃先折損なしの場合と同級の精度まで修正可能であることを明らかにした。本実験では送り速度を変化させず、主軸回転数のみを変化させているため、どちらも実加工時間は同等である。生産性を保ちつつ加工工程の安定性の可能性を確認できた。今後は実験で行ったような加工条件の修正や加工条件の最適化をニューラルネットワークで行い、安定的に継続した生産の実現を目指す。

表1 切削条件

|                     | 切削速度<br>[m/min] | 主軸回転<br>数[rpm] | 送り速度<br>[mm/min] |
|---------------------|-----------------|----------------|------------------|
| 工具折損なし,<br>工具折損あり   | 20              | 637            | 64, 127,<br>254  |
|                     | 40              | 1273           |                  |
|                     | 63              | 2000           |                  |
| 工具折損あり<br>(切削条件変更後) | 40              | 1273           | 127, 254         |

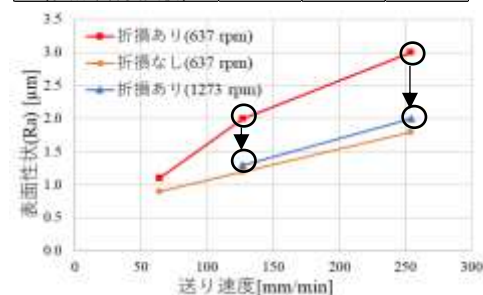


図1 通常時と工具折損時における表面性状

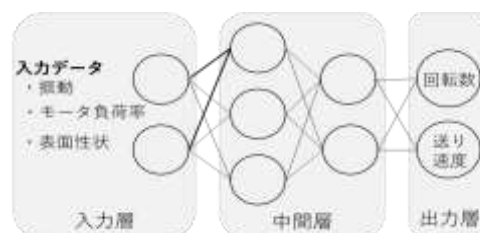


図2 ニューラルネットワークの構成

## ジャイロモノレールの車体安定性に関する研究

\*天谷 知司(東海大学工学部精密工学科)、\*\*土屋 寛太郎(東海大学工学部精密工学科助教)

### 1. はじめに

ジャイロモノレールとは、1本のレール上を走行する車両のことであり、最大の利点は既存の軌間の異なる線路同士をユニバーサルに走行することが可能な点である。このような新たな交通手段としての可能性を持つにも関わらず、長年に渡りジャイロモノレールの開発は停滞していた<sup>[1]</sup>。そこで、本研究ではジャイロモノレールの特性を明らかにし実用化への可能性を探るべきであると考え、ジャイロモノレールの実験機を製作することを目的とし、ジャイロモノレールの各種構造の検討、構成部品の選定等のジャイロモノレールの設計を行った。

### 2. ジャイロの原理とメカニズム

ジャイロの原理は、慣性の法則とプリセッション、コリオリ力、サニャック効果の3原理に大別される<sup>[2]</sup>。このうちジャイロモノレールには、慣性の法則とプリセッションが重要で、これら2つはジャイロ効果とも呼ばれる。慣性の法則とは、高速で回転するディスクが外部から力が加わらない限り回転軸を一定に保つように働くこと、プリセッションとは外部から回転軸に力が加えられるとその力と直角方向に回転しようとするものである<sup>[3]</sup>。次に、ジャイロモノレールを安定に保つためのメカニズムを示す。回転するジャイロを回転軸に直角な回

転運動をするジンバルで支持することで、ロール軸はプリセッションの影響を受けることができる。このときジャイロに外部からのトルクを加えるとプリセッションによりロール軸を車両の姿勢を安定させる側へと戻そうとする。上記のトルク、すなわちジンバルを意図的に傾けるモーメントを生み出す機構がサーボであり、他にジンバルの傾きを検知する機構等がジャイロモノレールの構成に不可欠である。

### 3. 諸元

ジャイロモノレール製作機の諸元を Table1 に示す。モーターと減速比に関しては、シングルジャイロモノレールとしての成功例である森博嗣の7号機を参考とした<sup>[1]</sup>。

### 4. 製作

ジャイロモノレール用に製作したジャイロユニットを Fig.1 に示す。また、ジャイロモノレール全体の外形図を Fig.2 に示す。

### 5. 参考文献

- [1] 森博嗣、ジャイロモノレール、幻冬舎(2018)
- [2] 多摩川精機(株)、ジャイロセンサ技術、東京電機大学出版局(2011)
- [3] 大内茂人、小谷斉之、平田弘志、高橋孝一、千田有一、ジャイロアクチュエータを用いた2輪車の自立走行制御、日本機械学会論文集 Vol.81、No832、2015

Table1 Specification

|                  | 項目      | 製作機           |
|------------------|---------|---------------|
| ① 車両全体           | 総車重     | Max3500[g]    |
|                  | 材料      | アルミ、アクリル(絶縁部) |
| ② ジャイロ<br>・ジンバル  | 重量      | 500[g]程度      |
|                  | フレーム材料  | アルミ           |
|                  | ホイール径   | φ65[mm]       |
|                  | ホイール質量  | 350[g]        |
|                  | ホイール材料  | C3601         |
|                  | モーター    | Mabuchi 540   |
|                  | 電源      | 7.2[V]        |
| ③ バランシング<br>システム | サーボモーター | Mabuchi 280   |
|                  | 電源      | 3[V]~6[V](切換) |
|                  | 減速比     | 4.0~6.0       |
| ④ 走行装置           | モーター    | Mabuchi 260   |
|                  | 電源      | 3.0[V]        |
|                  | 動輪      | C3601,30[mm]  |



Fig.1 Gyro Unit

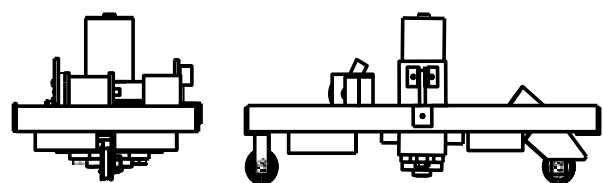


Fig.2 Gyro Monorail

## 2019 SAS Symposium 鉄道シミュレーションを用いた走行安定性に関する研究

\*小泉隆一(東海大学工学部精密工学科)、天谷知司(東海大学工学部精密工学科)、鈴木大貴(東海大学工学部精密工学科) \*\*土屋寛太郎(東海大学工学部精密工学科助教)

## 1. 緒言

鉄道車両の車輪とレール接触面で起こる現象は様々であり、脱線による事故を引き起こすこともある。鉄道車両の設計では営業最高速度においても自励振動が発散しないように走行安定性を十分に確保し、輪軸が本来備えている曲線通過時の自己操舵機能を引き起こすことが望まれている。本研究では車輪とレール接触面で発生する力の1つであるクリープ力に着目し、輪軸やレールの各種パラメータを変化させた際、クリープ係数がどのような影響を受けるかシミュレーションによって検討した。

## 2. クリープ力

クリープ力はレール上を転がる車輪とレールの接触面に作用する力である<sup>(2)</sup>。クリープ力は転送する車輪とレールの間の微小なすべりにより生じる接線力であり、その力の大きさはクリープ率に依存する。車輪とレールの接触面に作用するクリープ力を図1に、クリープ率とクリープ力の関係を図2に示す。解析には、クリープ力のモデルとしてカルカーの3次元弾性転がり接触の理論が広く利用される。図1に示すように、接触面は水平面に対して角度を有し、その状態で車輪が回転し、この角度を接触角という。接触面には法線力のほかに、接触面に平行なすべりによる生じる縦・横クリープ力の合力と回転すべりにより生じる法線軸まわりのスピンモーメントが作用する。ただし、接触面は図2に示すように進行方向前側が固着して弾性変形しており、スピンの軸が接触面の中心より前方に寄るため、横クリープとスピンのクリープが相互に影響を及ぼしあう。特にクリープ率が小さい範囲では、クリープ力がクリープ率にほぼ比例して増加する。この範囲を線形クリープの領域といい、車両の走行安定性解析を行うときなどには線形クリープ力を使用する。線形クリープ力は次の式で表す<sup>(1)</sup>。

$$\text{縦クリープ力: } f_1 = -k_{11}v_1, \text{ 横クリープ力: } f_2 = -k_{22}v_2 \cdots \quad (1)$$

(1)式において  $k_{11}$ ,  $k_{22}$  はカルカーの線形クリープ係数[N]、 $v_1$ ,  $v_2$  は縦および横クリープ率である。クリープ係数は(2)のように求められる。

$$k_{11} = EabC_{11}, \quad k_{22} = EabC_{22}, \quad k_{21} = EabC_{22}, \quad k_{12} = EabC_{22} \cdots \quad (2)$$

## 3. 解析

車輪曲率半径などの各種パラメータを設定し MATLAB を用いてシミュレーションを行い、パラメータがクリープ係数に与える影響を検証した。

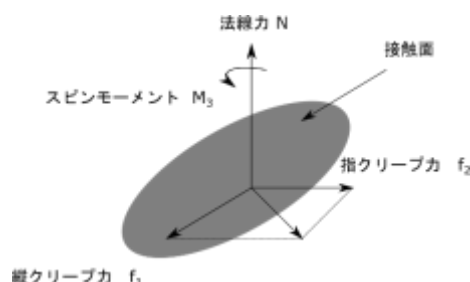


図1 車輪とレールの接触面に作用するクリープ力

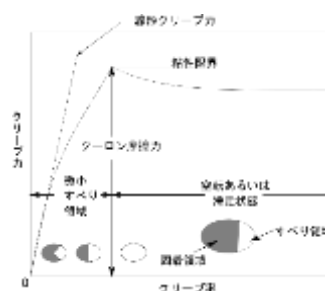


図2 車輪・レール間のクリープ率とクリープ力の関係

## 4. 参考文献

- (1) 車両とレール間のクリープ力、土井久代、鉄道力学研究部 (2006)  
bunken.rtri.or.jp/doc/fileDown.jsp?RairacID=0004004781
- (2) 鉄道車両のダイナミクスとモデリング、日本機械学会、丸善出版株式会社 (2017)

## 鉄道シミュレーションを用いた脱線に関する研究

\*鈴木大貴（東海大学工学部精密工学科） \*\*指導教員 土屋寛太郎（東海大学工学部精密工学科助教）

[はじめに]

2000年3月8日に帝都高速度交通営団の日比谷線中目黒駅構内で発生した列車衝突脱線事故は、死者5名、負傷者63名という日本における鉄道事故史上非常に大きな事故であり、複合的要因による脱線事故の研究が始まる契機ともなった。この事故の要因は脱線した車両の車輪や車軸等に折損等の異常が見られなかったことから、比較的低速で走行中に車輪がレールに乗り上がって脱輪に至る「乗り上がり脱線」と推定されている<sup>1)</sup>。本研究では、Matlab/Simulinkを用いて、各部位のパラメータを利用し、任意の条件を設定することで推定脱線係数を求め、安全性の検討を行った。

[解析方法と目的]

横圧推定式から求められる曲線走行時に発生する外軌側の横圧 $Q$  N を輪重推定式から求められる外軌側輪重 $P$  N で除することによって推定脱線係数( $Q/P$ )を求められる輪重横圧推定式を使用した。なお、推定脱線係数が1.2以下であることが、脱線を引き起こさない条件の目安とされる。図1に輪軸モデルを示す。実際には安全率20%をとり推定脱線係数比が1.0を超える場合には脱線防止ガードを設置するなどの対策が施される<sup>2)</sup>。各種鉄道車両のパラメータ

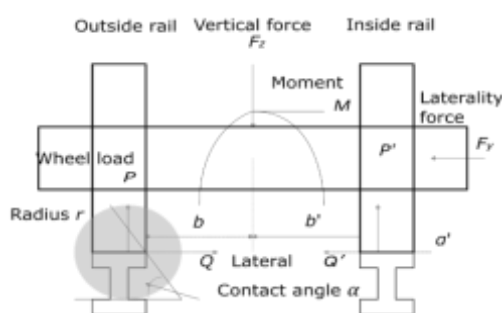


図1 輪軸モデル

<sup>1)3)</sup>を基に推定脱線係数を計算した。図2に地下鉄車両、図3に量産系特急車両、図4に特急車両、の推定脱線係数波形を示す。

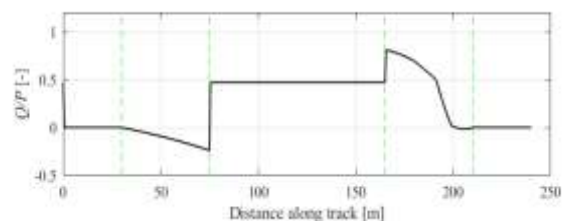


図2 推定脱線係数波形(地下鉄車両)

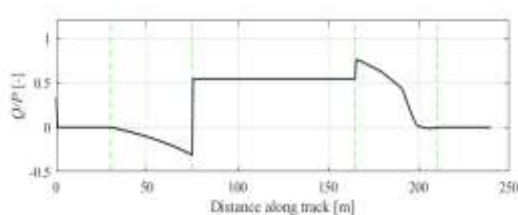


図3 推定脱線係数波形(量産系特急車両)

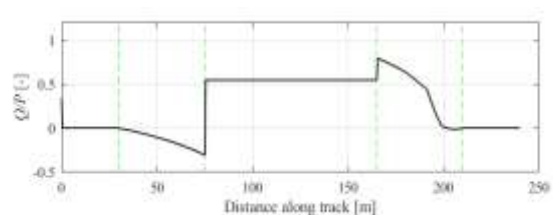


図4 推定脱線係数波形(特急車両)

[結果及び考察]

地下鉄車両、量産系特急車両、特急車両、全ての車両において走行距離165 mの地点で最も推定脱線係数が大きくなっている。また、地下鉄車両は、走行距離75 m～165 mにおいて推定脱線係数が最も小さいにも関わらず走行距離165 mの地点において最も大きな推定脱線係数を示したことから、脱線しやすいと考えられる。

[参考文献]

- [1] 事故調査検討会：帝都高速度交通営団 日比谷線中目黒駅構内列車脱線衝突事故に関する調査報告 (2000)
- [2] 石田弘明：鉄道車両の乗り上がり脱線防止対策、精密工学会誌、Vol.75、No.3、pp.337-340 (2010)
- [3] 鉄車工資料館JARI：([https://www.tetsushako.or.jp/member/database/search\\_RG.html](https://www.tetsushako.or.jp/member/database/search_RG.html)) 2019年7月8日閲覧



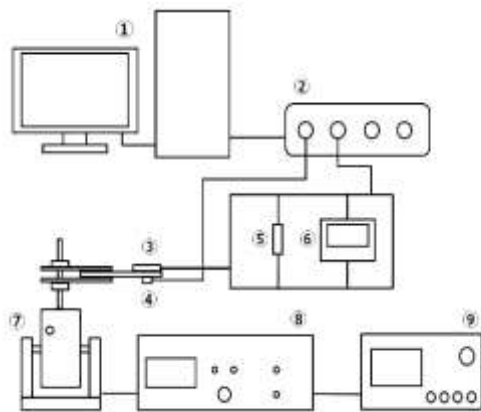
## 共振現象における圧電振動発電（圧電材料の寸法変化）

\*落合 凌也（東海大学工学部精密工学科），安達 友美（東海大学工学部精密工学科），原 駿介（東海大学工学部精密工学科），\*\*土屋 寛太郎（東海大学工学部精密工学科助教），森山 裕幸（東海大学工学部動力機械工学科）

### 1. 緒言

様々な内部に空間を有する薄肉構造物では、構造振動と内部音場間に連成が生じる。その音響エネルギーの多くは騒音として扱われ、また機械的エネルギーに比べて極めて小さいことから、応用範囲は非常に狭い分野に限られていた。一方で、振動を電気に変換する振動発電の分野の研究が活発に進められている。このような振動発電特性は、圧電素子の力学的挙動に依存し、発電時の挙動は圧電素子自体の機械的性質だけでなく、振動体の振動特性にも深く関係するため理論的に検討する場合、圧電素子を含む系の振動特性と電気特性間の関連を考慮する必要がある。従来の研究では梁構造を用いた振動発電が多く取り上げられ、その発電特性がかなり明らかにされている<sup>(1), (2)</sup>。そこで本研究では加振器に片持ち梁を取り付けた装置、2種類の寸法の圧電素子を用いて、圧電素子の寸法の変化が及ぼす影響を検討し、発電効率の改善を目標としている。

### 2. 実験方法



- |               |                    |
|---------------|--------------------|
| ① パーソナルコンピュータ | ⑥ 電圧計              |
| ② FFT アナライザ   | ⑦ 加振器              |
| ③ 圧電素子        | ⑧ パワーアンプ           |
| ④ 加速度ピックアップ   | ⑨ マルチファンクションジェネレータ |
| ⑤ 抵抗          |                    |

Fig.1 実験装置の配線図

本研究では、加振周波数を 100～1000 Hz まで変化させた際の発電量と加速度の関係性を調べた。パワーアンプからの出力電流は 1A に固定している。

手順としては、まず 50 Hz ごとの発電量と加速度を調べる。次に実験結果を基に、発電量の多い共振周波数とみられる場所を加振周波数が低いところから 2カ所選び、1次モード、2次モードとする。それぞれの点を中心とした 10 Hz ごとの上下 8 点データを取る。またこの結果を基にそれぞれ 5 Hz ごとの上下 2 点データを取る。さらにこの結果を基にそれぞれ 1 Hz ごとの上下 8 点データを取り電圧のピークを確定させる。振動リード法を用い、梁の共振周波数の計算値を求め測定値のデータと比較する。

### 3. 実験結果

Fig. 2 は長さ 80 mm の梁における圧電素子の電圧を示しており、圧電素子が直径 20 mm の時の第 1 ピークは 205 Hz、第 2 ピークは 530 Hz でピークを生じている。この時の電圧は 17.2 mV と 39.0 mV である。27 mm の時 213 Hz と 526 Hz で、56.3 mV と 74.4 mV のピークを生じている。各々のピークは圧電素子を貼り付けた梁における振動モードによる発電であると考えられる。

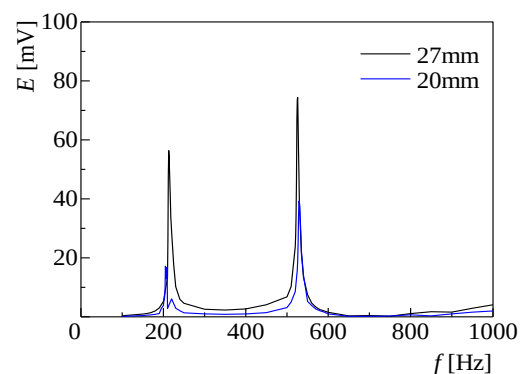


Fig.2 梁長 80 mm における電圧

### 参考文献

- 土屋 寛太郎 他:「円筒構造における音振動連成を利用した圧電振動発電の効率改善」(2014)
- 安達 和彦 他:「機械共振式の圧電振動発電に関する基礎研究」日本機械学会論文集 (C 編) 76 巻 761 号 (2010-1)



## 共振現象における圧電振動発電（振動材料の寸法変化）

\*原 駿介（東海大学工学部精密工学科）、落合 凌也（東海大学工学部精密工学科）、安達 友美（東海大学工学部精密工学科）、\*\*土屋 寛太郎（東海大学工学部精密工学科助教）、森山 裕幸（東海大学工学部動力機械工学科）

### 1. 緒言

様々な内部に空間を有する薄肉構造物では、構造振動と内部音場間に連成が生じる。その音響エネルギーの多くは騒音として扱われ、また機械的エネルギーに比べて極めて小さいことから、応用範囲は非常に狭い分野に限られていた。一方で、振動を電気に変換する振動発電の分野の研究が活発に進められている。従来の研究では梁構造を用いた振動発電が多く取り上げられ、その発電特性がかなり明らかにされている<sup>(1)</sup>。しかしながら、振動材料の寸法による変化のよる発電効率を取り上げた例は少ない。

そこで本研究では、加振器に圧電素子を貼り付けた片持ち梁の寸法を変化させ、振動材料の寸法変化が発電特性に及ぼす影響を検討した。

### 2. 解析及び実験方法

本研究では、ANSYS を用いて実験に使用した長さ 3 種類の梁を解析し、実際に得られたデータとの比較を行う。加振周波数を 100～1000 Hz まで変化させた際の出力電圧と加速度の関係性を調べた。パワーアンプからの出力電流は 1 A に固定している。

まず 50 Hz ごとの加速度を調べ、次に加速度の高い共振周波数とみられる場所を加振周波数が低いところから 2 カ所選び、1 次モード、2 次モードとする。その後それぞれの点を中心とし、詳細なデータを取る。

### 3. 結果及び考察

本実験に使用する梁の共振周波数を ANSYS 内のモーダル解析を用いて調べた結果を Fig. 1 と Table 1 にそれぞれ示す。

次に、ANSYS にて得られたデータを基に実験した結果を Fig. 2 に示す。解析及び実験を基に共振周波数付近で加速度に大きな変化が得られたが、その際の共振周波数に違いが生じた。これは実験の際の梁の固定部分が振動因子として機能してしまったためと考えられる。

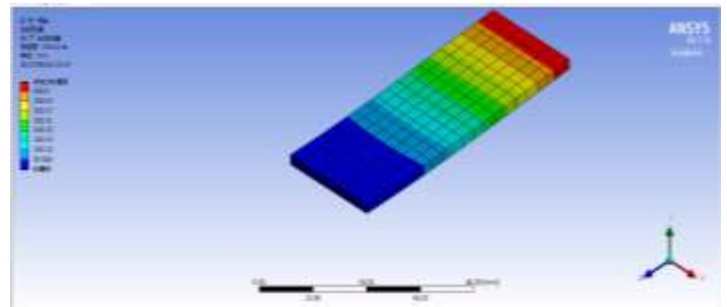


Fig. 1 ANSYS を用いた解析結果

Table 1 ANSYS での各長さにおけるモード発生周波数

|             | 80mm    | 110mm   | 140mm   |
|-------------|---------|---------|---------|
| 1 次モード (Hz) | 355. 41 | 187. 82 | 116. 64 |
| 2 次モード      | 2002. 8 | 1293. 7 | 787. 45 |
| 3 次モード      | 2504. 7 | 1404. 9 | 1082. 4 |

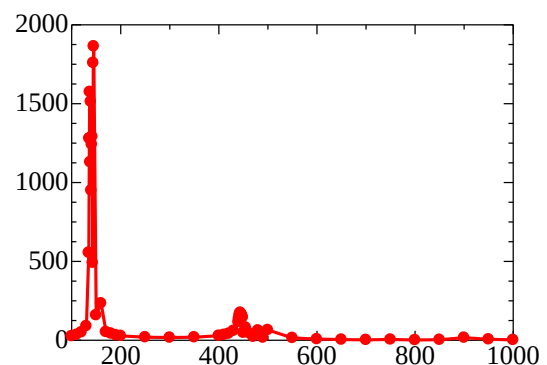


Fig. 2 アルミ梁における加速度

### 参考文献

- (1) 土屋 寛太郎 他:「円筒構造における音振動連成を利用した圧電振動発電の効率改善」(2014)
- (2) 安達 和彦 他:「機械共振式の圧電振動発電に関する基礎研究」日本機械学会論文集 (C 編) 76 巻 761 号 (2010-1)

**雷の原理に関する理科教材の開発**

\*山本 卓（東海大学教養学部人間環境学科）、\*\*小栗和也（東海大学教養学部人間環境学科）

取り下げ

スキャニメーション利用した教材 n における図形サイズの最適化

\*吉田 勇太(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)

概要原稿なし

放電現象と音の関係について考える教材

\*戸嶋 一仁(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)

取り下げ

GPS とペットボトルロケットを利用した教材開発

\*清水雄太(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)

概要原稿なし

**振動発電を利用した力学・電磁気学に関する教材開発**

**\*井手 将翔** (東海大学教養学部人間環境学科)、**\*\*小栗和也** (東海大学教養学部人間環境学科)

概要原稿なし



## 大気圧プラズマジェット照射によるローダミン 6G 水溶液の脱色

\*中山健吾、福井大樹、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）  
小田慶喜（東海大学技術共同管理室）

### 1. はじめに

放電やプラズマを用いて有色廃水を脱色する研究が注目されている。私たちの研究室では大気圧アルゴン (Ar) プラズマジェットを用いて、有色廃水の脱色を目指した研究を行っている [1]。ローダミン 6G ( $C_{28}H_{31}ClN_2O_3$ ) (図 1) は、キサンテン系の赤色染料で紙・皮革・木材などの染色に使用されている。

本発表では、ローダミン 6G 水溶液へ大気圧 Ar プラズマジェットを照射し、ローダミン 6G 水溶液の脱色を試みた結果について報告する。

### 2. 実験

大気圧 Ar プラズマジェットは、周波数 10 kHz、印加電圧 10 kV、Ar ガス流量 10 L/分間で発生させた。直径 60 mm のシャーレにローダミン 6G 水溶液 (濃度 100  $\mu$  mol/L) を 10 mL 入れ、プラズマジェットを照射距離 15 mm で 0~50 分間照射した (図 2)。ローダミン 6G 水溶液の吸光度スペクトル測定には、JASCO 製分光光度計 V-630 を用いた。

### 3. 結果と考察

図 3 にプラズマジェット照射に伴うローダミン 6G 水溶液の色の变化を示す。プラズマ照射前ではオレンジ色であったが、プラズマ照射時間の増加に伴い徐々に色が薄くなり、50 分間照射後には透明になり脱色された。

図 4 にローダミン 6G 水溶液の吸光度スペクトルのプラズマ照射時間依存性を示す。プラズマ照射前では波長 500 nm 付近にピークが見られたが、プラズマ照射時間の増加に伴いピークでの吸光度は徐々に低くなり、50 分間のプラズマ照射後にはほとんど零になった。これらの結果から、ローダミン 6G 水溶液は、50 分間のプラズマ照射により脱色されることがわかった。

### 4. 結論

大気圧 Ar プラズマジェット照射によりローダミン 6G 水溶液は脱色されることがわかった。

当日は、質量分析 (MS) 測定の結果も合わせて示し、ローダミン 6G 分子の分解過程についても報告する予定である。

[1] 井上, 津金, 小田, 桑畑: Journal of Advanced Science, Vol. 30, p. 30107-1~6 (2018).

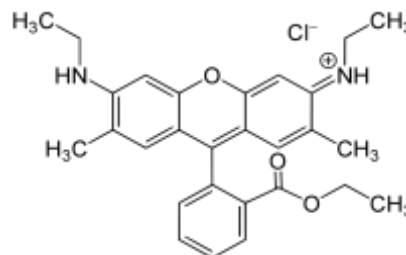


図 1 ローダミン 6G 分子の構造

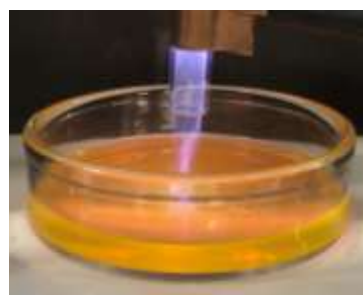


図 2 ローダミン 6G 水溶液へのプラズマジェット照射の様子



図 3 プラズマジェット照射に伴うローダミン 6G 水溶液の色の变化: (a)照射前、(b) 10 分間、(c) 20 分間、(d) 30 分間、(e) 40 分間、(f) 50 分間照射

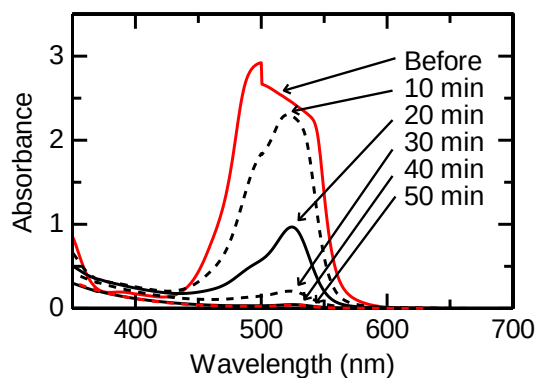


図 4 ローダミン 6G 水溶液の吸光度スペクトルのプラズマ照射時間依存性

## 大気圧プラズマジェット照射による $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ 薄膜の熱電特性の向上

\*佐藤光太、河野達夢、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）  
小林晃大、高尻雅之（東海大学工学部材料科学科）

### 1. はじめに

焼却炉・各種プラント・自動車エンジンからの熱などの利用されていない熱を、電気エネルギーに変換するビスマステルル( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ )熱電変換素子が注目されている。

本発表では、スパッタ法で作製された  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  薄膜へ大気圧アルゴン(Ar)プラズマジェットを照射し、熱電特性の向上を試みた結果について報告する。

### 2. 実験

図1に実験装置の概略図を示す。大気圧 Ar プラズマジェットは、周波数 10 kHz、印加電圧 10 kV、Ar ガス流量 10 L/分間で発生させた。 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  薄膜(20×30 mm<sup>2</sup>、膜厚約 1 μm)は、ガラス基板上にスパッタ法で作製され、Ar ガス(95%)+水素ガス(5%)中で 300℃1 時間熱処理された。その後、プラズマジェットを照射距離 10 mm で 1 分間・5 分間全面に照射した(図2)。 $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  薄膜の電気抵抗値とゼーベック係数をプラズマ照射前後で測定した。

### 3. 結果と考察

図3に5分間プラズマ照射前後の  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  薄膜を示す。プラズマ照射前後で変化は見られなかった。

表1にプラズマ照射による電気抵抗値の変化を示す。1分間照射では1.5%、5分間照射では8.8%増加した。この結果から、5分間照射の方がより電流が流れにくくなっていることがわかった。これは、照射時間が長すぎて  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  薄膜に見てわからない大きさのダメージ(欠陥)を生じさせているためかもしれない。

表2にプラズマ照射によるゼーベック係数の変化を示す。1分間照射では4.5%増加し、5分間照射では逆に3.4%減少した。この結果から、1分間照射の方がより熱が伝わりやすくなっていることがわかった。

### 4. 結論

スパッタ法で作製された  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  薄膜に大気圧 Ar プラズマジェットを照射した場合、5分間照射より1分間照射の方が熱電特性が向上することがわかった。

今後は、より熱電特性を向上させるプラズマ照射条件を探り、プラズマ照射前後での表面状態や結晶構造の変化を調べ、熱電特性向上の原因を明らかにしたい。

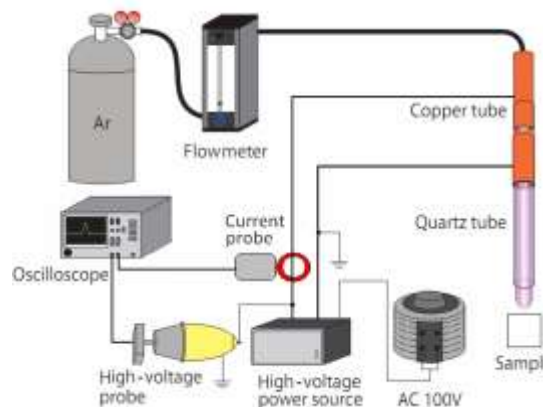


図1 実験装置の概略図



図2  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  薄膜へのプラズマジェット照射の様子



図3 5分間プラズマ照射前後の  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  薄膜  
(a) 照射前、(b) 照射後

表1 プラズマ照射による電気抵抗値の変化

| 照射時間 | 照射前     | 照射後             |
|------|---------|-----------------|
| 1 分間 | 8.326 Ω | 8.454 Ω (1.5%↑) |
| 5 分間 | 8.040 Ω | 8.750 Ω (8.8%↑) |

表2 プラズマ照射によるゼーベック係数の変化

| 照射時間 | 照射前         | 照射後                 |
|------|-------------|---------------------|
| 1 分間 | -124.6 μV/K | -130.2 μV/K (4.5%↑) |
| 5 分間 | -130.7 μV/K | -126.3 μV/K (3.4%↓) |

## プラズマ照射水によるスプラウトの再成長の促進

\*佐藤悠介、古谷晃平、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）

### 1. はじめに

放電やプラズマを用いて植物の成長や種子の発芽を促進させる研究が注目されている。以前私たちの研究室では大気圧アルゴン (Ar) プラズマジェットを水に照射すると、水中に硝酸イオン ( $\text{NO}_3^-$ ) が生成されることを報告した[1]。 $\text{NO}_3^-$ は、植物の肥料の三大成分の一つである窒素の素となる(残りの二つはリン酸とカリウムである)。

本発表では、大気圧 Ar プラズマジェットを照射した水(プラズマ照射水)を豆苗スプラウト(エンドウ豆が発芽した状態)(図 1)の水耕栽培に用い、再成長(切断後の成長)に効果があるのかを確かめた結果について報告する。

### 2. 実験

大気圧 Ar プラズマジェットは、周波数 10 kHz、印加電圧 10 kV、Ar ガス流量 10 L/分間で発生させた。直径 60 mm のシャーレに蒸留水を 10 mL 入れ、プラズマジェットを照射距離 15 mm で 20 分間照射した(図 2)。豆苗スプラウトは、種子から約 10 cm のところで切断された。切断された豆苗スプラウトを、紙コップに入れ、蒸留水 50 mL あるいはプラズマ照射水(プラズマ照射水 10 mL + 蒸留水 40 mL) 50 mL をそれぞれ与えた。二日に一度、蒸発した分は 50 mL になるように継ぎ足した。プラズマ照射水中の  $\text{NO}_3^-$  の濃度は、半定量イオン試験紙を用いて測定された。

### 3. 結果と考察

図 3 に豆苗スプラウトの再成長の様子を示す。左側の写真が蒸留水を、右側の写真がプラズマ照射水を与えた場合である。5 日後では蒸留水を与えた場合の一本だけが大きく再成長していた。10 日後では両方の場合で再成長したが、プラズマ照射水を与えた場合の方がより成長が見られた(茎が伸びていた)。

半定量イオン試験紙を用いて測定されたプラズマ照射水中の  $\text{NO}_3^-$  濃度は、25 mg/L であった。

### 4. 結論

豆苗スプラウトの水耕栽培において、プラズマ照射水( $\text{NO}_3^-$  濃度: 25 mg/L) はスプラウトの再成長を促進させることがわかった。

[1] H. Kuwahata and I. Mikami: e-J. Surf. Sci.

Nanotechnol. 12, 410 (2014).



図 1 豆苗スプラウト

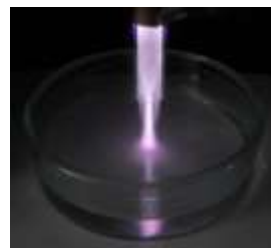


図 2 蒸留水へのプラズマジェット照射の様子



(a) 観察開始日



(b) 5 日後



(c) 10 日後

図 3 豆苗スプラウトの再成長の様子  
左: 蒸留水、右: プラズマ照射水

## 大気圧プラズマジェット照射によるモルタルの強度の向上

\*小川嵩太、藤元裕也、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）

外山友貴、笠井哲郎（東海大学工学部土木工学科）

富田恒之（東海大学理学部化学科）

### 1. はじめに

大気圧プラズマを用いたモルタルの表面改質の研究が注目されている。以前私たちの研究室では、モルタルに大気圧アルゴン (Ar) プラズマジェットを 1 分間あるいは 5 分間照射すると、モルタル表面の親水性と吸水性が向上することを報告した [1]。

本発表では、大気圧 Ar プラズマジェットをモルタルへ照射すると、モルタルの圧縮強さが向上したことについて報告する。

### 2. 実験

大気圧 Ar プラズマジェットは、周波数 10 kHz、印加電圧 10 kV、Ar ガス流量 10 L/分間で発生させ、モルタル試料の 4 面の中央に照射距離 2 mm で 1 分間と 5 分間照射された (図 1)。プラズマ照射後にモルタル試料は、3、7、18 日間水中養生された。モルタル強度の評価は、曲げ強度試験と圧縮強度試験を JIS 準拠にて行った。各試験には 3 個の試料を用いた。曲げ強度試験では、試料の中央 (プラズマ照射部分) に力が加えられた。

### 3. 結果と考察

図 2 に曲げ強さの水中養生日数依存性を示す。曲げ強さは、水中養生日数の増加に伴い増加した。18 日間水中養生後の曲げ強さは、3 試料とも約 8.7 N/mm<sup>2</sup> でほぼ同じであった。この結果から、プラズマ照射により曲げ強さは変化せず、プラズマ照射部分の強度は弱くならないことがわかった。

図 3 に圧縮強さの水中養生日数依存性を示す。プラズマ照射前の試料の圧縮強さは、7 日間以上の水中養生で飽和した。18 日間水中養生後の圧縮強さは、プラズマ照射前では 42.6 N/mm<sup>2</sup> であり、プラズマ照射後では 51.2 ~ 52.2 N/mm<sup>2</sup> であった。この結果から、プラズマ照射により圧縮強さは約 1.2 倍に向上することがわかった。

### 4. 結論

モルタルへの大気圧 Ar プラズマジェット照射により圧縮強さは約 1.2 倍に向上することがわかった。

[1] 羽田, 富田, 笠井, 桑畑: 第 66 回応用物理学会春季学術講演会 予稿集, 11a-PA7-2 (2019)。

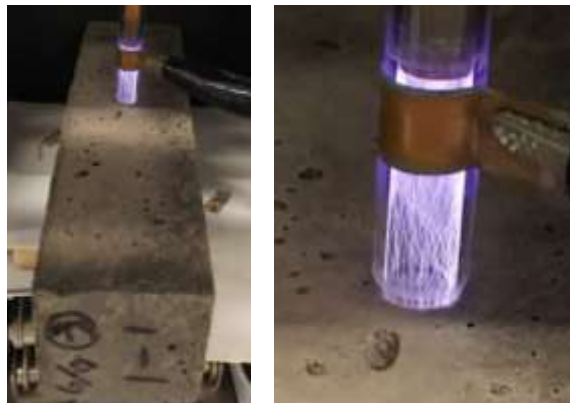


図 1 モルタル試料 (40×40×160 mm<sup>3</sup>) への大気圧プラズマジェット照射の様子

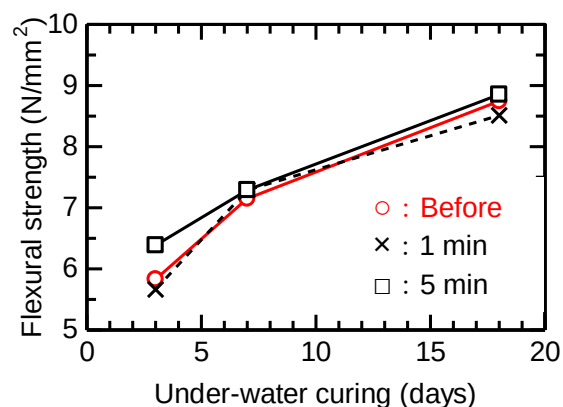


図 2 曲げ強さの水中養生日数依存性

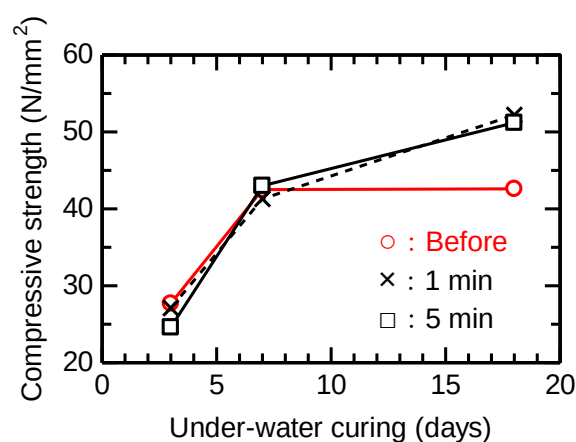


図 3 圧縮強さの水中養生日数依存性

## 大気圧プラズマジェット照射によるトリアリールメタン系染料の脱色

\*藤塚直貴、星 祐斗、\*\*桑畑周司（東海大学工学部電気電子工学科）  
小田慶喜（東海大学技術共同管理室）

### 1. はじめに

放電やプラズマを用いて有色廃水を脱色する研究が注目されている。私たちの研究室では大気圧アルゴン (Ar) プラズマジェットを用いて、有色廃水の脱色を目指した研究を行っている [1]。ニューフクシン ( $C_{22}H_{24}ClN_3$ ) (図 1) は、トリアリールメタン系の赤色染料で絹・羊毛・綿などの染色に使用されている。

本発表では、ニューフクシン水溶液へ大気圧 Ar プラズマジェットを照射し、ニューフクシン水溶液の脱色を試みた結果について報告する。

### 2. 実験

大気圧 Ar プラズマジェットは、周波数 10 kHz、印加電圧 10 kV、Ar ガス流量 10 L/分間で発生させた。直径 60 mm のシャーレにニューフクシン水溶液 (濃度 100  $\mu$  mol/L) を 10 mL 入れ、プラズマジェットを照射距離 15 mm で 0~40 分間照射した (図 2)。ニューフクシン水溶液の吸光度スペクトル測定には、JASCO 製分光光度計 V-630 を用いた。

### 3. 結果と考察

図 3 にプラズマジェット照射に伴うニューフクシン水溶液の色の変化を示す。プラズマ照射前では赤色であったが、プラズマ照射時間の増加に伴い徐々に色が薄くなり、40 分間照射後には透明になり脱色された。

図 4 にニューフクシン水溶液の吸光度スペクトルのプラズマ照射時間依存性を示す。プラズマ照射前では波長 538 nm 付近にピークが見られたが、プラズマ照射時間の増加に伴いピークでの吸光度は徐々に低くなり、40 分間のプラズマ照射後にはほとんど零になった。これらの結果から、ニューフクシン水溶液は、40 分間のプラズマ照射により脱色されることがわかった。

### 4. 結論

大気圧 Ar プラズマジェット照射によりニューフクシン水溶液は脱色されることがわかった。

当日は、質量分析 (MS) 測定の結果も合わせて示し、ニューフクシン分子の分解過程についても報告する予定である。

[1] 井上, 津金, 小田, 桑畑: Journal of Advanced Science, Vol. 30, p. 30107-1~6 (2018).

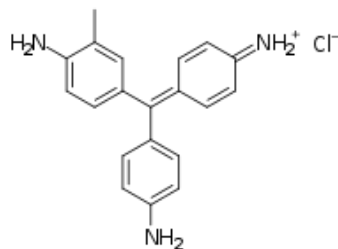


図 1 ニューフクシン分子の構造



図 2 ニューフクシン水溶液へのプラズマジェット照射の様子

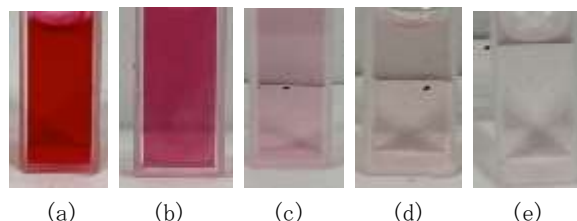


図 3 プラズマジェット照射に伴うニューフクシン水溶液の色の変化: (a)照射前、(b)10 分間、(c)20 分間、(d)30 分間、(e)40 分間照射

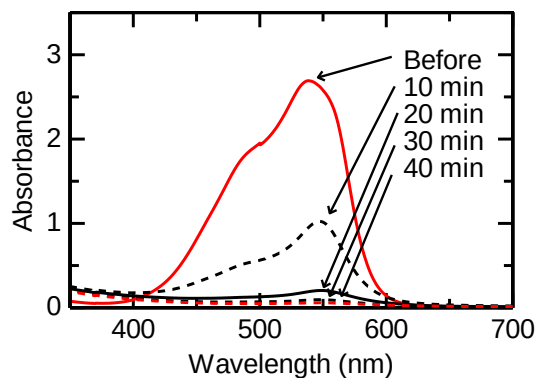


図 4 ニューフクシン水溶液の吸光度スペクトルのプラズマ照射時間依存性



## プラズマ中成膜における薄膜の内部応力制御

\*荒井伸亮(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、鎌田健聖(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、  
秋元翼(東海大学工学部原子力工学科)、内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、  
\*\*松村義人(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)

【緒言】イオンプレーティング法は、真空蒸着とプラズマプロセスの利点を組み合わせたハイブリッド真空薄膜堆積法である。この成膜方法は、薄膜の成膜時に加熱による蒸発粒子を、放電によるプラズマを利用して活性化させ、付着強度の向上や反応ガスの導入による窒化物等の化合物膜の作製が可能である等の特徴を有している。イオンプレーティング法ではプラズマ中で成膜するために、薄膜作製時には大きな過剰エネルギーが導入される。この過剰エネルギーは蒸着粒子の運動エネルギーとなり内部応力等に大きな影響を及ぼすと考えられる。しかし、イオンプレーティング装置では蒸発温度が低い材料を成膜する際には、蒸発源からの熱電子放出量が少ないためイオン化率が低く、成膜時に大きな過剰エネルギーを投入することが困難である。そこで、我々は蒸発温度の低い材料を成膜する際にイオン化率を上げるため、熱電子放射フィラメントを用いることによりイオン化率の向上が可能であると考えた。本研究においては熱電子放射フィラメントをイオンプレーティング装置に設置しイオン化率を向上させ薄膜に投入される過剰エネルギーがどの程度増加したかを明らかにし、その過剰エネルギーがどのような形で薄膜に取り込まれたかを検討することを目的とした。

【実験方法】蒸発金属は電子銃を用いて加熱し、本研究に用いた熱電子放射フィラメントはイオンプレーティング装置内の蒸発源斜め上方にタングステン線を用いて設置をした。蒸発源に対して正の電圧を印加した放電電極により、赤熱(溶融)した蒸発源材料および、抵抗加熱した熱電子放射フィラメントから熱電子を引き出し、加速された熱電子との衝突により蒸発金属をイオン化させた。基板には n 型単結晶 Si(100)を用いた。ラングミュアプローブ、ファラデーカップ、マルチグリッド型静電アナライザー(MGA)を用いてプラズマ診断を行い、過剰エネルギーを評価した。薄膜の内部応力の算出には、光てこ法を用いた。成膜前の基板と成膜を行った後の試料の反射光位置の違いから、曲率半径  $R$  を測定した。そして反射光位置には PSD センサーを用い、変位量を測定し、光路長・薄膜梁長さより求めた。

【結言】イオンプレーティング装置に導入した熱電子放射フィラメントの電流値を増加させることで、フィラメントの表面温度が上昇し熱電子が放出される。この熱電子と蒸発金属の衝突によりイオン化率が向上し過剰エネルギーが増加した。Fig. 1 に過剰エネルギーに対する金属薄膜の内部応力の関係を示す。Ni イオンの運動エネルギーと入射量の積である過剰エネルギーの増加に伴い、Ni イオンによるピーニング効果が増大し、圧縮方向に応力が変化したものと考えられる。

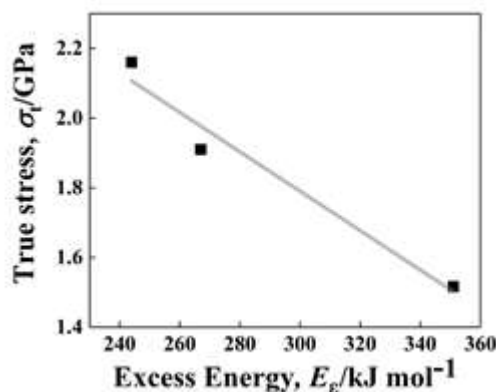


Fig.1 Excess energy dependence of true stress in Ni thin films

## 酵素カスケード反応とバイオ蛍光技術を用いたメタノールガス用バイোসニファ

\*前野 夕紀、岩崎 芳菜子 (東京医科歯科大学大学院 歯学総合研究科)

當麻 浩司、荒川 貴博、\*\*三林 浩二 (東京医科歯科大学 生体材料工学研究所)

### 【はじめに】

近年、腸内細菌叢が食物からの栄養吸収や免疫機能と関連することが報告されており、腸内細菌叢の状態把握は健康維持に重要である。しかし、既存の腸内細菌の評価方法では、便の採取や菌の培養が必要であり、煩雑さや結果の判明に時間を要することが課題となっている。*Bacteroidetes* 門に分類される腸内細菌は、食物繊維のペクチンを分解する過程でメタノール(MeOH)を生成する。この MeOH は腸壁から血中、さらに肺でのガス交換を経て呼気へと放出されることが報告されている。したがって、呼気中に含まれる MeOH 濃度を計測することで腸内細菌の簡便かつ非侵襲的な状態把握が可能であると考えられる。本研究では、呼気 MeOH 計測による腸内細菌の活動の簡便かつ非侵襲的な評価を目的として、酵素反応を利用した MeOH ガス計測用生化学式ガスセンサ(バイোসニファ)を開発し、呼気 MeOH 計測への応用の可能性を検討した。

### 【実験方法】

MeOH 用バイোসニファの測定原理や反応系を評価するためにアルコール酸化酵素(AOD)とホルムアルデヒド脱水素酵素(FALDH)を組み合わせた MeOH 溶液用バイオセンサを構築した。MeOH 用バイオセンサは、「AOD&FALDH 固定化酵素膜を装着した光ファイバ型プローブ」、「NADH を励起する UV-LED ( $\lambda = 340 \pm 10 \text{ nm}$ )」、「光電子増倍管(PMT)」などにて構築した。AOD を介した MeOH の酸化反応にて生じたホルムアルデヒドは FALDH にてカスケード的に脱水素反応を起こす。その際、補酵素の酸化型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド( $\text{NAD}^+$ )が、自家蛍光( $\lambda_{\text{ex}}: 340 \text{ nm}$ ,  $\lambda_{\text{em}}: 490 \text{ nm}$ )を有する還元型 NAD(NADH)となることを利用し、NADH の蛍光強度から MeOH 濃度を測定する。実験では、まず AOD&FALDH 酵素固定化膜の作製条件の最適化、および定量特性を評価した。次いで、上記バイオセンサを基に、MeOH ガス測定用バイオスニファを構築し、呼気中の MeOH 計測への応用の可能性を検討した。

### 【結果及び考察】

最適化した AOD&FALDH 膜を用いて構築した MeOH 溶液用バイオセンサの応答性、定量特性を調べた(図 1)。MeOH 溶液の滴下に伴う蛍光出力の増加が確認され、本センサの定量範囲は  $494 \text{ nM} - 100 \text{ mM}$  ( $R = 0.995$ )であった。さらに、構築したバイオスニファを MeOH ガス計測に用いた。種々の濃度の MeOH ガスをバイオスニファに負荷し、出力応答を調べた。その結果、ガス濃度に応じた蛍光出力の増加が観察され、健常者の呼気濃度( $150 \text{ ppb}$ )を含む、 $100 \text{ ppb} - 20 \text{ ppm}$  の範囲で MeOH ガスの測定が可能であった。また、本センサを健常者の呼気計測に用いたところ、呼気の負荷に伴う蛍光強度の増加と供給停止による初期値への回復が確認された。この結果から呼気中の MeOH 濃度を算出したところ、 $0.78 \text{ ppm}$  と概算された。これは既報の健常者の安静時における呼気 MeOH 濃度( $0.1 - 2.3 \text{ ppm}$ )と矛盾しない値であり、本バイオスニファの呼気 MeOH 計測および腸内細菌叢の評価への応用の可能性が示唆された。

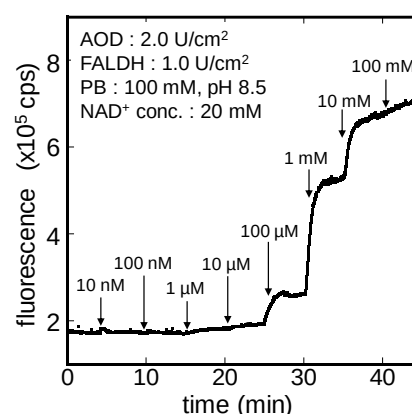


図 1 作製したバイオセンサの MeOH 溶液に対する応答性



## 気相用バイオセンサとガス濃縮装置を融合したエタノールガス用高感度計測システム

\*石川 力、青田 崇志(東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科)

當麻 浩司、荒川 貴博、\*\*三林 浩二(東京医科歯科大学 生体材料工学研究所)

### 【はじめに】

呼吸、皮膚ガスには血液中の様々な揮発成分が含まれ、これらの計測は非侵襲かつ簡便な疾病スクリーニングや代謝センシングが可能と考えられる。特に皮膚ガスは連続的かつ無意識に採取可能で、次世代のウェアラブル計測に有用である。しかし皮膚ガス成分濃度は呼吸に比して低いため(皮膚から放出されるエタノールやアセトンは数十 ppb 程度)、皮膚ガスを利用した代謝センシングの実現には高感度なガス計測技術が求められる。そこで、本研究では皮膚ガスに含まれるエタノールの計測に向けて、アルコール脱水素酵素(ADH)の触媒反応を用いた生化学式ガスセンサ(バイオスニファ)を作製し、液体窒素を用いたガス濃縮装置と組み合わせることで高感度なエタノールガス計測システムを構築した。

### 【実験方法】

本センサでは、エタノールの酸化反応を触媒する ADH を用いた。ADH はエタノールの酸化反応触媒の際、補酵素として酸化型 NAD(NAD<sup>+</sup>)を還元し、自家蛍光( $\lambda_{ex}$ : 340 nm,  $\lambda_{fl}$ : 490 nm)を有する還元型 NAD(NADH)を生成する。反応前後での蛍光強度の増加を検出することでエタノールガスの測定を行う。エタノール計測システムは、図 1(a)に示すように、「光ファイバ型プローブ」、「励起光源(UV-LED,  $\lambda = 340$  nm)」、「光電子増倍管(PMT)」、「標準ガス発生装置(パーミエーター)」、「ガス濃縮装置(NIT-P, ピコデバイス・高砂電気工業株式会社)」等にて構築した。光ファイバ型プローブ先端には、「ADH 固定化膜」を装着し、液相には NAD<sup>+</sup>含む緩衝液を送液する。ガス濃縮装置はサンプルガスを液体窒素にて冷却し、その中に含まれる VOCs 成分を 0.1 mL に凝集することができる。濃縮後はクライオスタットが 100 °C に加熱され、クライオスタット中で液化した成分が気化され、濃縮ガスがセンサ感応部へと導入される(図 1(b))。センサの特性評価では、標準ガス発生装置にて種々の濃度に調製したエタノールガス(1-3100 ppb)を濃縮装置にて濃縮し、センサ感応部に負荷した際の蛍光強度の変化を測定した。

### 【結果及び考察】

本システムの標準エタノールガスに対する定量特性および応答特性評価を行った。標準ガス発生装置にて調整したエタノールガス(1-3100 ppb)を濃縮装置にて濃縮し、センサ感応部に負荷した際の蛍光強度の変化を測定した。結果として、ガス負荷に伴う速やかな出力上昇と濃度に応じたピーク値、ガス供給後の初期値への回復が観察された。また、安静時の呼吸中エタノール濃度(37-207 ppb)、飲酒時の最大皮膚エタノールガス濃度(73.9-112.1 ppb/cm<sup>2</sup>)を含む、1-3100 ppb の濃度範囲でのエタノールガスが定量可能であった。また、従来のバイオスニファ(定量範囲 25-128000 ppb)と比較し、開発した濃縮ガス計測システムでは検出感度が約 25 倍向上することを実現し、皮膚ガスエタノールの計測の可能性を示唆する結果が得られた。

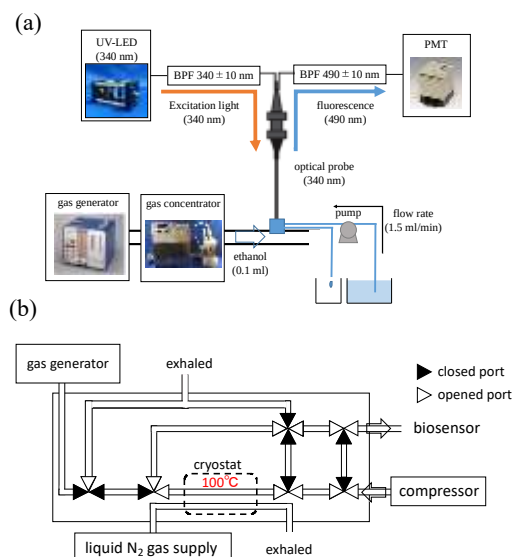


図 1. (a)ガス濃縮装置を用いた皮膚ガス計測システム, (b)ガス濃縮装置の内部構造と濃縮ガス負荷時のセンサ感応部への経路。

## 非接触重水素プラズマ照射によるタングステン表面への影響

\*豊島誠也(東海大学理学部化学科)、瀧本壽来生(東海大学総合理工学研究科総合理工学専攻)、金子新(東海大学理学部物理学科)

\*\*利根川昭(東海大学理学部物理学科)、松村義人(東海大学工学部原子力工学科)

将来のエネルギー問題を解決するため、比較的反応温度(1億度)が低い、重水素(D)とトリチウム(T)を燃料にした核融合発電の研究が進められている。D-T反応はヘリウム(He)と中性子(n)が生成される。生成されたHeは不純物としてプラズマの純度や温度を低下させることが危惧されている。そのため生成されたHeなどの不純物を排気するため、ダイバータと呼ばれる排気機構が設置される。ダイバータはプラズマを直接接触させ、中性子化した粒子を排気する。しかしダイバータには、炉心から流出した高温・高密度のプラズマが直接接触させるため、ダイバータ板が熱負荷により損耗すること、またダイバータが不純物を排気する際、未反応の燃料粒子(D、T)がダイバータ板内に吸蔵することが課題となっている。特にTは放射性物質であり、核融合炉内の保有制限値が決められている。これらの課題を解決することが、核融合発電を実現するために重要となっている。

ダイバータ板の材料の最有力候補としてタングステン(W)が挙げられている。Wは耐熱に優れ、スパッタにも強く、さらに水素同位体を吸蔵しにくいという特徴があるが、高熱流のプラズマが流入すると、Wでも熱負荷には耐えることができず、解けることが報告されている。そこで、ダイバータ板への熱負荷を低減する手法として、非接触プラズマを生成する方法が有力とされている。非接触プラズマとは、プラズマにガスを導入することにより冷却し、再結合過程を促進することで消滅させ、プラズマがダイバータ板から離れた非接触状態のプラズマである。これによって、ダイバータ板への熱負荷は著しく減少することが見込まれる。しかし、プラズマ中のイオンと電子が再結合することによって生じた、多量の原子と分子がダイバータ板へと衝突することが予想される。この粒子のうちの一部は、荷電交換反応により、高エネルギーイオンの運動量をそのまま受け取っている。そのため、非接触プラズマ生成時のダイバータ板は、予想より粒子による損耗が大きいことが懸念されている。しかし、Wへの非接触プラズマ照射の研究は、殆ど行われていないのが現状である。そこで、本研究では、非接触プラズマ照射によるW表面への影響を明らかにすることを目的としている。

実験では、非接触プラズマにおけるダイバータ材料の表面状態変化を解析するため、直線型ダイバータ模擬装置TPDsheets-U(図1)を用いて、Wへの重水素非接触プラズマ照射実験を行った。試料は表面を鏡面研磨し、900度で焼純したW板(10mm×10mm、厚さ1mm)を使用した。W表面の変化は、走査型電子顕微鏡(SEM)と白色干渉顕微鏡(BW)を用いて解析した。

詳細はポスターにて発表する。

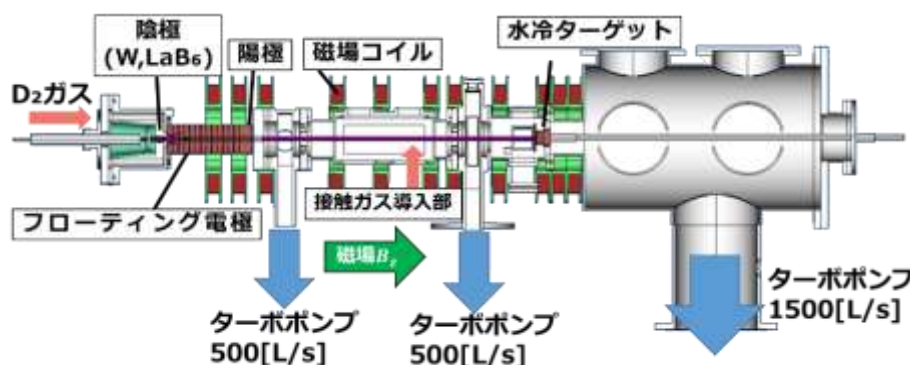


図1. 直線型ダイバータ模擬装置 (TPD-SheetU) の概略図

## 大電流化に向けたシートプラズマ型負イオン源からのビーム引き出しの評価

\*神永啓希(東海大学理学部物理学科)、花井啓利(東海大学理学研究科物理学専攻)、瀧本壽来生(東海大学総合理工学研究科総合理工学専攻)

\*\*利根川昭(東海大学理学部物理学科)、河村和孝(東海大学)、佐藤浩之助(東京理科大学・中部電力)

核融合発電は豊富な資源量や、優れた環境保全性から、次世代のエネルギー源として期待されている。発電方法として核融合反応(D-T 反応)を利用するためには、約 1 億度まで加熱した炉心プラズマを一秒以上閉じ込める必要がある。炉心プラズマの主たる加熱方法の一つに、NBI(Neutral Beam Injection)加熱法がある。NBI 加熱では、イオン源から引き出したイオンビームを静電的に加速し、途中で荷電粒子を中性化することにより、高エネルギーの中性粒子ビームとして炉心プラズマに入射することで加熱する。従来、荷電粒子源には正イオン源が使用されてきたが、現在では、発電に必要な炉心プラズマの温度を達成・維持するには、負イオン源の方が高効率であることが分かっている。そのため、大電流・高密度の負イオンビームを負イオン源から引き出すための研究・開発がなされている。多くの研究機関では高い負イオン密度を得るため、セシウムを引出し電極へ塗布している。しかしながら、電極表面のセシウムの一様性、加速部へのセシウム蒸気流入による絶縁破壊などの課題があり、連続的な運転が要求される核融合装置には、セシウムを使わない非セシウム型イオン源が必要である。

本研究室では、シート状のプラズマを利用したシートプラズマ型負イオン源(TPDsheet-U)の開発を行っている。従来までに、非セシウム型負イオン源を用いてH<sup>-</sup>イオンビーム電流密度を得ることに成功している。また、引出し装置を大型化することで、負イオンビーム電流の増加にも成功した。しかし、負イオンと共に引き出される電子ビームの電流値が大きい引出し電極部への熱負荷が増加した。実際にNBI装置に使用される負イオン源では、負イオンビーム、電流値に対して電子ビーム電流値が同程度あるいはそれ以下であるのに対し、TPDsheet-Uでは最大で10倍程大きい。電子ビームによる電極への熱負荷を低減するためには、この電流値の比率を小さく抑える必要がある。そこで、本研究では、粒子シミュレーションを利用することにより、ビーム引き出し機構の評価を行い、電子ビームによる影響を低減する手法を提案することを目的とする。

実験では、図1のようにTPDsheet-Uを用いて水素プラズマを生成し、水素ガスを接触させることでH<sup>-</sup>イオンを生成する。生成された負イオンを設置した引出し電極を用いて静電的に引き出した。電子ビームの電流値を低減するため、引き出し電極内への電子の流入量を抑制する手法として、引き出し孔に流入する電子を遮るように電子のラーマー半径よりも十分に高さのあるフェンスを設置した(図2参照)。このフェンスの高さを変化させたときの負イオンビーム電流値と電子ビーム電流値を比較することで、最適なフェンスの高さを決定する。また、シミュレーションでは、実際の引出し電極構造および引出し領域近傍のプラズマパラメータを用いて計算した。

詳細についてはポスターで発表する。

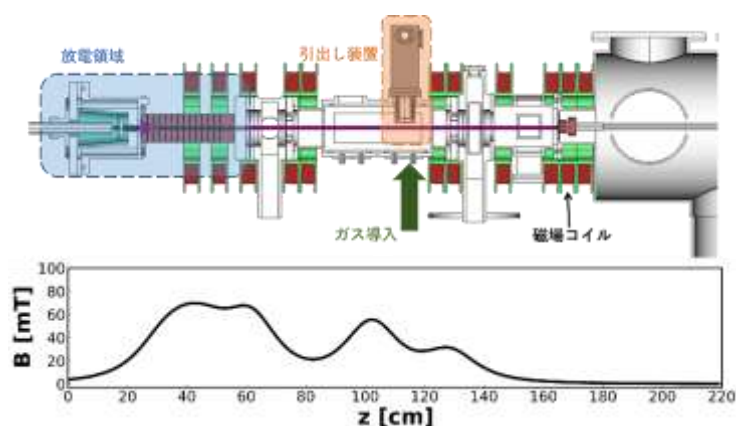


図1. シートプラズマを利用した負イオン源 (TPD sheet-U) の概念図

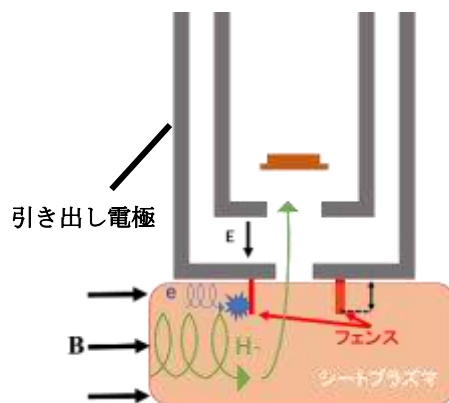


図2. 引き出し電極と電子制御用フェンスの概略図

## オーロラ揺動の解明に向けたシートプラズマにおける基礎実験

\*宮松寛明（東海大学理学部物理学科）、瀧本壽来生（東海大学大学院理学研究科物理学専攻）

\*\*利根川昭（東海大学理学部物理学科）、河村和孝（東海大学）、佐藤浩之助（東京理科大・中部電力）

極地上空に出現するオーロラの光は、磁気圏より降下するオーロラ粒子が大気中の中性粒子と衝突し生じることが明らかになっている。一方、オーロラの揺動については現在も発生機構の解明に至っておらず、様々な原因が候補として挙げられている。例えば、地磁気の変動や大気の流れの影響、オーロラ中のプラズマ不安定性がそれにあたる[1]。

レーダーを用いたオーロラ観測により、オーロラ中でいくつかのプラズマ不安定性が生じているということが分かっており、そのうちの一つにクロスフィールド不安定性がある。これは、オーロラ中の電場、プラズマ密度の勾配、磁場の3つのパラメータに依存するプラズマ不安定性で、この不安定性がオーロラの形状を変形させる一つの要因になっていると考えられている[1]。しかし、様々な要因によって揺動している実際のオーロラにおいて、クロスフィールド不安定性に起因する揺動のみを観測するのは困難である。そこで、我々は実験室におけるオーロラの模擬実験を試みることにした。実験室では真空容器内においてプラズマを生成する為、実際のオーロラが生じている環境と比べると、大気の流れや地磁気の変化の影響が格段に少なくなるように操作することが出来るので、オーロラを直接観測するよりも特定のプラズマ不安定性によるプラズマの揺動を観測しやすい。さらに、我々が扱っているシートプラズマの電場やプラズマ密度の勾配、磁場の分布は実際のオーロラと似ているため、シートプラズマでもクロスフィールド不安定性によるプラズマの変形が起こると考えられる。

さらに、シートプラズマとオーロラの形はともにシート状であり、幾何学的構造が似ていることから、プラズマ不安定性による揺動も同じような揺動が起こり得る。

本研究では、直線型プラズマ装置 TPDsheet-U でシートプラズマを発生させ、クロス

フィールド不安定性によって生じたと考えられるシートプラズマの揺動を高速カメラで撮影し、観測部でシートプラズマの揺動が生じていることを確認する。図2はその典型的な結果であり、写真からシートプラズマが上下に揺らぐ様子を確認できる。また、ラングミュアプローブを用いて、プラズマ密度・電位の時間的な揺らぎや、空間分布を取得する。磁場に関しては、矩形型コイルの電流を制御することで任意の定常磁場を生成する。今回は、シートプラズマの揺動に関して、高速カメラの撮影結果とラングミュアプローブによる測定の結果から、シートプラズマの揺動の原因と挙動について報告する。詳細はポスターにて説明する。

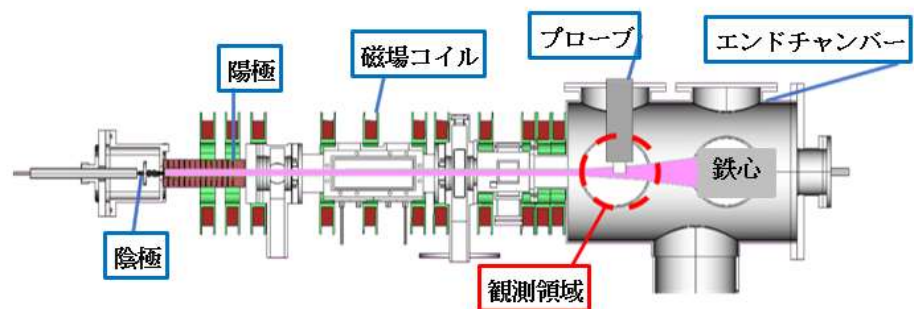


図1. 直線型プラズマ装置 TPDsheet-U の装置図

[1] 電波研究所季報, Vol.20 No.108  
(1994) pp.311-321.

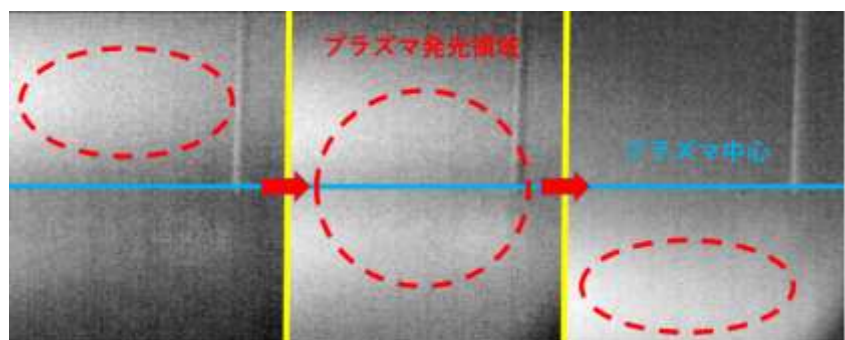


図2. 高速カメラで撮影されたシートプラズマの揺動



## 非接触プラズマを照射したタングステンの重水素吸蔵・透過特性

\*金子新（東海大学理学部物理学科） 瀧本壽来生（東海大学総合理工学研究科総合理工学専攻）

\*\*利根川昭（東海大理学部物理学科）、松村義人（東海大学工学部原子力工学科）、河村和孝（東海大学）、佐藤浩之助（東京理科大・中部電力）

将来の代替エネルギー源として核融合反応を用いた核融合発電の研究が進められている。現在、比較的低温（1 億度）で高い核融合反応断面積を有する重水素(D)とトリチウム(T)を燃料とした D-T 反応による核融合発電を目指している。核融合反応によって生成されるヘリウム(He)や、スパッタされた炉壁材料などの不純物は、炉心プラズマ中に蓄積すると、燃料密度の希釈による核融合反応の低下やプラズマ温度の低下という問題を生じさせる。そのため不純物を廃棄する機器としてダイバータが設置されている。ダイバータはプラズマとダイバータ板を直接接触させる事で中性化した粒子を排気する。排気された燃料粒子は再利用されるが、ダイバータ材料であるタングステン(W)に吸蔵される燃料粒子も存在する。特に T は放射性物質であり、核融合炉内の T の保有制限値が決められているため、どの程度吸蔵されるのかを明らかにすることは重要である。また、W 中を透過した T が水冷間まで透過した場合、冷却水の放射化も懸念される。

また、ダイバータには絶えず高温のプラズマが入射されるが、それにより生じる熱負荷は、材料の耐久性から  $10\text{MW}/\text{m}^2$  程度に抑えることが要求されている。ダイバータへの熱・粒子負荷を抑えるため、ダイバータプラズマに中性ガスを導入してプラズマの再結合を促進し、ダイバータ板にプラズマが直接接触しない状態にする非接触プラズマの生成が提案されている。非接触プラズマ生成時、プラズマの再結合過程において重水素の原子・分子が多数生成されてダイバータ板近傍のガス圧が増加する。金属表面からの粒子拡散は原子の状態で行われるため、プラズマの非接触化による熱・粒子の低減度合いに比して、タングステンへ吸蔵される重水素量は減少しない、あるいは増加することが懸念される。しかし、非接触プラズマをタングステンへ照射した実験は今まで行われていない。そこで本研究では、重水素非接触プラズマ照射時のタングステンへの重水素吸蔵・拡散特性を明らかにする事を目的とした。

実験では、直線型ダイバータ模擬装置 TPDsheet-U より生成した重水素プラズマを、タングステン試料に照射した。図 1 に実験領域での接触及び非接触プラズマを示す。非接触プラズマは実験領域に重水素ガスを導入する事で生成した。また、接触プラズマから非接触プラズマまで変化した際の入射イオンフラックス、電子温度、電子密度を計測した。試料は鏡面研磨後約  $900^\circ\text{C}$  で焼鈍したタングステン（ $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ ,  $1\text{mm}$  厚）を使用した。プラズマ照射後、試料中に吸蔵された重水素量を昇温脱離装置（TDS）を用いて分析した。詳細はポスターにて発表する。

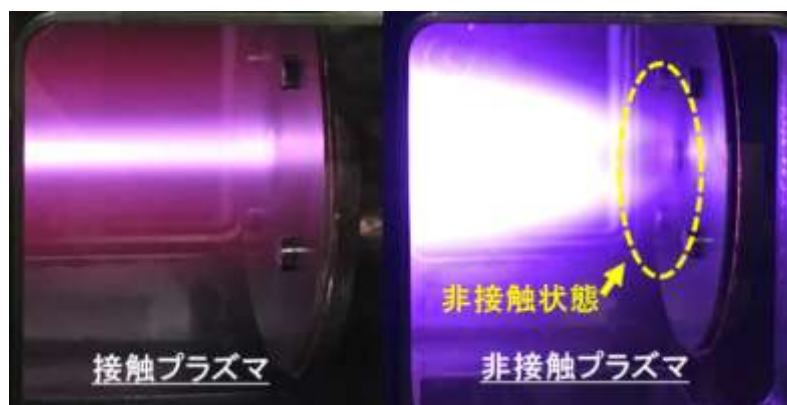


図 1. 実験領域での接触・非接触プラズマの様子

## シートプラズマ型負イオン源における水素分子の振動温度と負イオン密度の特性

\*花井 啓利(東海大学理学研究科物理学専攻)、瀧本 壽来生(東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻)、  
神永 啓希(東海大学理学部物理学科)、\*\*利根川 昭(東海大学理学部物理学科)、佐藤 浩之助(東京理科大学・中部電力)、河村 和孝(東海大学)

次世代の発電技術のとして核融合発電の研究が進められており、核融合反応を起こすには 1 億度以上の高温、高密度のプラズマを維持する必要がある。NBI(Neutral Beam Injection)装置は、国際熱核融合炉 ITER(International Thermonuclear Experimental Reactors)で使用される非常に強力な外部加熱システムである。プラズマ生成領域である負イオン源はNBI装置で重要な役割を果たし、ITERで要求される負イオン源は、0.3 Pa のガス圧力下で 28 mA/cm<sup>2</sup> の電流密度の重水素負イオンビームを 3600 秒間供給し、負イオンと同時抽出される電子との比率は 1 未満に維持する必要がある。セシウムは、電極表面の仕事関数を減少させ、衝突する原子やイオンを変換することにより、効率的な負イオン生成を行うことができる。このことから、多くの負イオン源がセシウムを使用し負イオン電流を増加させている。しかし、セシウムの吸着と分布は複雑なプロセスであり、一様な蒸着面の維持及び加速部領域への流入による絶縁破壊等の課題がある。従って、セシウム消費量を低減するか、全く使用しない代替案を検討することは有益である。これは、当研究室のセシウムを使用しないシートプラズマ型負イオン源の開発を強く動機づけている。

シートプラズマは高エネルギー及び低エネルギーの電子領域が狭いため、負イオンの生成に適している。当研究室では非セシウム型負イオン源として世界トップの値である 8.4 mA/cm<sup>2</sup> の負イオンビーム電流密度を達成している(図 1)。今後実機程度の電流密度を得るために、負イオン密度を増加させることが急務となっている。体積生成型の負イオン源は再結合過程において負イオンを生成するため、再結合過程への理解が効率の良い負イオン生成に必要である。負イオン生成の反応過程を調べてモデル計算から負イオン密度と振動温度の特性を調べることで負イオン密度の増加方法を提案することを目的とした。

衝突輻射モデルは、プラズマの巨視的なパラメータ(電子温度、電子密度)から原子分子の励起準位ごとのポピュレーションを決定するモデルである。このモデルは原子の励起状態の変化が、原子分子の衝突過程と輻射過程によって表現できると仮定したモデルである。この衝突輻射モデルによる原子過程と衝突過程による原子・分子イオンの生成と消滅を考慮し、水素プラズマの 0 次元モデルを構築した。プラズマに対して Langmuir プローブ計測を行い、電子温度、電子密度、エネルギー分布関数を求め、発光分光計測により、水素原子のバルマー系列の発光スペクトルを得た。また、水素分子の振動温度計測として真空紫外分光計測を行った。これらのパラメータを用いて水素プラズマの再結合過程におけるモデル計算を行い、水素分子の振動温度と負イオン密度の特性を明らかにした(図 2)。

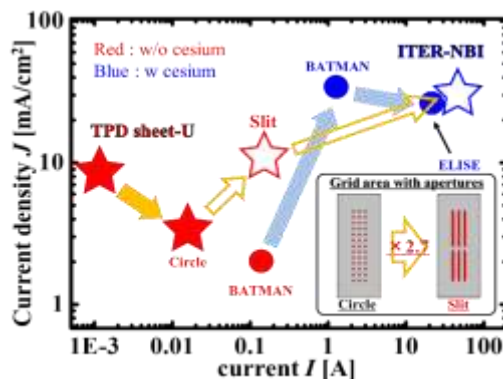


図 1. 負イオンビームの電流値と電流密度の関係

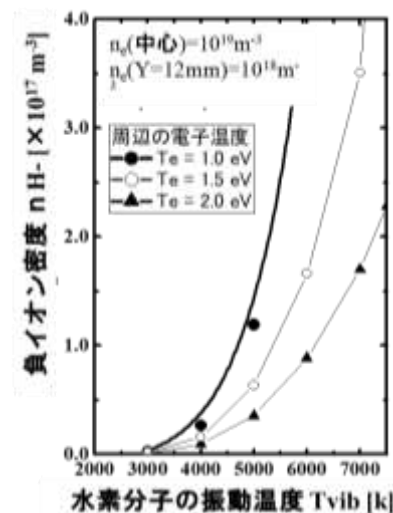


図 2. 水素分子の振動温度と負イオン密度の特性

## 深層学習による脳波状態測定における入力データ形式について

\*山本尚哉（東海大学工学部医用生体工学科）、圓城寺純矢（東海大学工学研究科医用生体工学専攻）、

C. インオン（東海大学工学研究科医用生体工学専攻）、安藝史崇（東海大学工学部医用生体工学科）、

木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、\*\* 山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）

### 1. はじめに

当研究室ではこれまで SSVEP による BCI の研究を行ってきた。SSVEP とは点滅刺激を提示した際に点滅刺激の周波数に同期して誘発される脳波である。SSVEP を誘発させるためには被験者に刺激強度の強い点滅刺激をある程度の時間提示する必要がある、被験者に対する負担が大きくなってしまふ。そこで、本来なら 3Hz と 6Hz のような周波数軸上で近い刺激を利用し、かつ被験者の負担にならないような刺激強度の低い点滅刺激を提示した際の脳波を深層学習に学習させて分類できるかどうかを検討するべきであるが、一般的な脳波状態分類を考慮し、20Hz と 60Hz の 2 種の明らかに異なる周波数で刺激強度の低い刺激を提示した際の脳波を深層学習で学習させて判別できるかどうか検討した。

### 2. 方法

被験者は健康成人男性 10 名、解析には 9 名のデータを使用した。20Hz で点滅光を提示している際の脳波測定を 5 回、60Hz で点滅光を提示している際の脳波測定を 5 回の計 10 回の測定において得られたデータを FFT 解析したデータと、周波数解析を用いない時間波形データの二種を入力データとし、10-分割交差検証により深層学習モデルの 1 つである畳み込みニューラルネットワーク (CNN) に学習させ判別させた時の精度を比較した。脳波電極は 10-20 法に基づき、C3, C4, P3, P4, O1, O2 から耳朵を基準として単極導出した。

### 3. 結果

構築した CNN のモデルに FFT を行った脳波データを入力したところ、学習データの精度は 54%、検証データの精度は 52%であった。時間波形データを入力したところ、学習データの精度は 51%、検証データの精度は 49%であった。

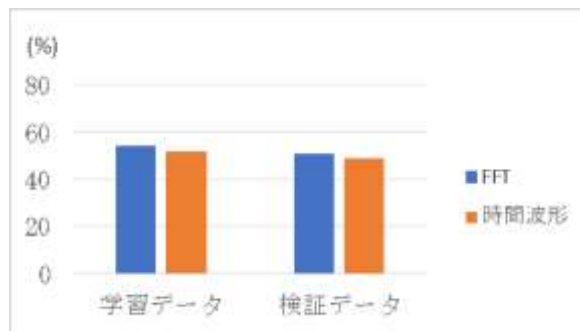


Fig.1 学習データと検証データの入力データごとの精度の比較

### 4. 考察

本研究では入力データを FFT 解析したデータと時間波形データの二つのパターンに設定して学習させた。両条件の比較では学習データや検証データの精度に有意な差は見られなかった。これらの原因として、両条件とも周波数分布の特徴が同程度に反映していることが考えられる。今後は脳波を周波数分布に変換するだけでなく、振幅や波形情報を含む、時系列データ上に現れる統計量なども考慮した方法を検討したい。



## 昼食後短時間睡眠が午後の認知機能に及ぼす効果

\*池ノ谷聡星(東海大学工学部医用生体工学科)、篠塚拓也(東海大学工学部医用生体工学科)、安藝史崇(東海大学工学部医用生体工学科)、\*\*山崎清之(東海大学工学部医用生体工学科)

### 1.はじめに

人間の生理的な体内時計は、サーカディアンリズムとよばれ一般に夜睡眠の時間に関わらず、午前2時と午後2時に強い眠気が生じる。この睡魔の影響により午後の認知機能が低下して仕事や勉学の効率に影響すると考えられる。そのため、短時間の昼寝が午後の作業効率に及ぼす影響を検討する目的で、以下の実験を行った。

### 2.方法

12-13時の間に昼食をとらせた後、実験協力者をシールドルームのベッドに仰臥させ15分程度の短時間睡眠を取ってもらい、脳波を記録して目視によりステージを判定した。対照条件として昼睡眠をしていないを設け、両条件での認知機能をクレペリン検査とストループ検査で比較した。脳波電極は10-20法に基づき、C3, C4, P3, P4から耳朵を基準として単極導出し、眼球運動の確認のためEOGの4つの電極(HEMのH1H2, VENのV1V2)の情報も記録した。得られた結果を睡眠ステージで分類し時間、作業量、正答率の項目で比較した。

### 3.結果

昼睡眠の有無で結果を比較したところ、ストループテストでは睡眠なしの場合の方が試験時間の短縮が見られた。しかしクレペリン検査では作業量の低下が見られた。テストの正解率を比較した場合はストループテストでは正解率は下がったが、クレペリン検査では正答率は上がった。さらに主観アンケートの結果では、普段日中眠気に襲われることがあり、眠気に耐えられず寝てしまうことがあるとの回答であったが、睡眠を取った日では眠くならなかったとの回答が多く、主観では作業の効率は向上したとの回答があった。

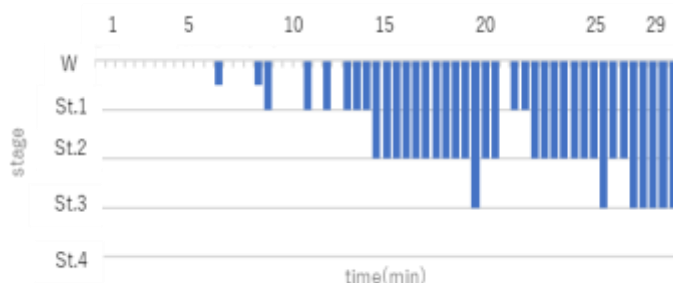


Fig.1 An Example of SleepDiagram

### 4.考察

結果では作業率の観点から見ると、ストループ遅延が少なく認知機能の向上は見られなかったが、クレペリン検査における単純作業量の向上が確認された。記憶の干渉に関連する認知機能への影響よりも単純計算の持続のような作業に、睡眠による休息が効果的であると考えられる。さらにアンケートでの回答から主観的に睡眠による回復の可能性が推測できる。しかし、その日の体調や気分などによる誤差も大きいと考えられるので、これから被験者の数を増やして統計解析による詳細な検討を行う予定である。

## 深層学習によるチェッカーフラグ SSVEP の状態分類

\*圓城寺純矢（東海大学工学研究科医用生体工学専攻）、

C. インオン（東海大学工学研究科医用生体工学専攻）、山本直哉（東海大学工学部医用生体工学科）、

安芸史崇（東海大学工学部医用生体工学科）、木村達洋（東海大学基盤工学部医療福祉工学科）、

\*\* 山崎清之（東海大学工学部医用生体工学科）

### 1. はじめに

筋委縮性側索硬化症（ALS）の患者は最終的には眼球運動さえできない完全閉じ込め症候群（TLS）となり、TLSに至ると意思疎通が極めて困難となる。そこで、このような患者に対する代替コミュニケーションシステムとしてブレインコンピュータインターフェース（BCI）に注目が集まっている。我々は BCI に使用される生体信号の中でも脳波に着目し、とりわけ脳波の中でも個人差がほとんどなく安定して測定できる定常状態視覚誘発電位（SSVEP）による BCI の研究を行った。SSVEP の判定は個人差が大きいため、深層学習で解析を行うことで客観的判別が可能な BCI システムの構築を試みた。

### 2. 方法

対象は健常人 20 名である。脳波電極は 10-20 法に基づき、C3, C4, P3, P4, O1, O2 に配置し、両耳朶を基準として単極導出した。刺激には 3Hz と 6Hz の 2 種類のチェッカーボードパターン刺激を、刺激サイズ 8×8 にして提示した。3Hz で提示した際の脳波と、6Hz で提示した際の脳波を 10-分割交差検証により深層学習モデルの 1 つである畳み込みニューラルネットワーク（CNN）に入力し学習させて判別を試みた。CNN のモデルは[1]の文献を参考に python の chainer を使用して構築した。

### 3. 結果

10 回の学習データに対する平均精度は 81.9%、10 回の検証データに対する平均精度は 77.5%であった。結果の 1 例として、10 回の学習のうち 2 回目における精度のグラフを Fig.1 に示す。

### 4. 考察

検証データに対する 10 回分の平均精度である 77.5%は 2 値分類の点では有意な結果であると考えられる。しかし、実用的な BCI システムとして考えた場合にはこの精度では十分ではない。今後は、さら精度を向上させるために、入力データ数を増やすことができる augmentation の実装を行っていききたい。

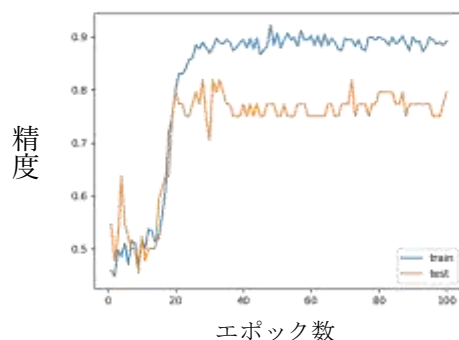


Fig.1.10 回中 2 回目における学習データと検証データに対する精度のグラフ

[参考文献]

[1] 曾我洋史ら、「脳波解析における畳み込みニューラルネットワークの適用」、DEIM Forum 2018 C3-1

## 脳波による電動義手制御を目的とした画像想起時脳波の深層学習

\*郡家知之（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、

\*\*影山芳之（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）

### 【はじめに】

電動義手は現在広く普及しているが、腕の切断位置により使用できない場合もある。そこで本研究では、学習した画像を想起した時の脳波を電動義手制御用のコマンドとして利用する電動義手の制御システムの実現を目的とした。想起時脳波を画像別に判別する方法として先行研究<sup>1)</sup>では正準判別分析を用いた判別を行った。今回は多層パーセプトロン (MLP) のアルゴリズムを用いた深層学習を検討したので報告する。

### 【実験方法】

健康な被験者 11 名を対象とし、脳波の計測を国際 10-20 法の単極誘導で行うことにした。電極は基準電極である耳介 (A1、A2) とリファレンス (Cz)、目的の電極として (Fp2、F4、C4、F8)、また、視覚野である (O1、O2) に配置した。図 1 に電極位置を示す。記憶する画像は義手の 3 種の動作を検討するため、数字画像 1、2、3 を用意した。また、刺激は「注視点 2 秒、刺激画像 3 秒、注視点 2 秒、注視点消失後に直前に見た画像の想起を行う区間 3 秒」を 1 セットとした動画で行った。なお、次の刺激画像が予測できないような並びで画像 3 種ごとに 6 回、計 18 回が 3 分間で再生されるように動画編集した。図 2 にセットの例を示す。被験者に動画を 2 回視聴させ、動画の流れに合わせて想起を行わせた。なお、脳波計測時のサンプリング周波数は 1kHz、バンドパスフィルタは 0.15~100Hz とした。

深層学習では、MLP モデル構造を用いたプログラムを構築した。先行研究の結果と比較するために、入力層には想起開始後 400ms の地点から 25ms 間隔で取得した 20 点を 1 本の 20 次元データとし、全被験者より 396 本の学習用データを用意した。MLP モデルは入力層 20 次元、隠れ層 512 次元、ドロップアウト 0.2、隠れ層 512 次元、ドロップアウト 0.2、出力層 3 次元と定義した<sup>2)</sup>。データの 80% を学習用、20% をテスト用に分割し学習回数であるエポック数は 300 回で行った。

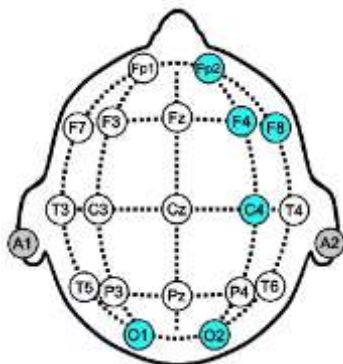


図 1 電極位置

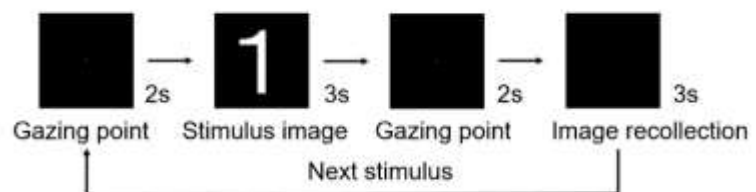


図 2 想起用動画の例

### 【結果及び考察】

深層学習の結果、正解率は約 32% となり、このままの正解率では電動義手の操作は難しいと考えられる。しかし、先行研究で用いた正準判別分析では想起時脳波を判別することが難しかった点と比較すると、深層学習による判別は電動義手の制御システムに利用できると考えられる。よって、深層学習による想起時脳波の判別を実用化するため、入力方法や MLP モデル構造などを改良し、正解率を上げる必要があると考える。

### 【参考文献】

- 1) Tomoyuki.G. et al, 2018. Canonical Discriminant Analysis of EEG Obtain by Image Stimulation for Controlling Electric Upper Limb Prosthesis. *Japan Society for Welfare Engineering*, Vol.22, pp.51-52. (In Japanese).
- 2) クジラ飛行机ら、すぐに使える！業務で実践できる！Python による AI・機械学習・深層学習アプリの作り方、2018 年 8 月 30 日、初版第 4 刷発行、pp.248-280

## 酵素逆反応とバイオ蛍光を用いたアセトアルデヒド用ガス可視化装置と生体ガス計測応用

\*鈴木 美華、飯谷 健太(東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科)

當麻 浩司、荒川 貴博、\*\*三林 浩二(東京医科歯科大学 生体材料工学研究所)

### 【はじめに】

呼吸や皮膚から排出される生体ガスは、代謝や疾患に関連する揮発性有機化合物(volatile organic compounds, VOCs)を含んでおり、生体ガスを非侵襲的に計測することで、簡便な代謝評価や疾患スクリーニングへの応用が期待できる。また、対象ガス成分を可視化することによって、ガス濃度の時空間分布を得ることで放出動態や部位の特定が可能になると考えられている。そこで本研究では、疾患や代謝を反映するアルデヒド成分の濃度分布や放出動態を目視で評価可能な生体ガス計測法の開発を目標とし、特にアルコール代謝産物であるアセトアルデヒド(AcH)ガスを対象とした。研究内容としては、アルコール脱水素酵素(alcohol dehydrogenase, ADH)の反応を用いた可視化装置を構築し、呼吸中の AcH ガスの可視化計測に応用した。

### 【実験方法】

ADH を固定化したメッシュ状のコットン担体に NADH を塗布して AcH ガスを負荷すると、AcH の還元と NADH の酸化反応が起こる。NADH が消費されることで減少する NADH の自家蛍光(ex:340 nm, fl:490 nm)の変化を高感度カメラで検出し、AcH ガスを蛍光可視化することで可視化計測を行った。本システムは環境光を遮断する暗箱内に、励起光源(UV-LED シート)、励起光用バンドパスフィルター(BPF,  $\lambda = 340 \pm 42.5$  nm)、ADH 固定化メッシュ、蛍光用 BPF ( $\lambda = 490 \pm 10$  nm)、高感度カメラの順で光学同軸上に配置することで可視化装置を構築した。ADH 固定化メッシュは、メッシュ状のコットン担体(2×2 cm<sup>2</sup>)に ADH をグルタルアルデヒドを用いて架橋することで作製した。測定では、ADH 固定化メッシュを NADH 溶液に湿潤させ、AcH ガスを負荷し NADH の酵素逆反応による蛍光の減少を撮像した後、画像処理にて蛍光強度を数値化した。生体ガスとして、飲酒後の呼吸ガス計測に応用した。

### 【結果及び考察】

本研究で構築したアセトアルデヒド用ガス可視化装置の様子を図 1 に示す。標準 AcH ガスを ADH 固定化メッシュに負荷した動画を解析して得られた蛍光強度と、微分解析して得られた蛍光強度の変化量を算出し、その定常値とピーク値から定量特性を調べた。その結果、蛍光強度と微分解析の両者において低濃度での AcH ガスの検出が可能であり、検量式から得られた定量範囲は 0.1–10 ppm であった。また、飲酒後の呼吸中に含まれる種々のガス成分を負荷したところ、AcH ガスに対する高い選択性が確認された。飲酒後の呼吸に応用した結果では、飲酒後 30 分を最大値とし減少していくことが確認され、AcH ガスの可視化計測が可能であった。さらに、アルコール代謝能力が良好な ALDH2[+]および不良な ALDH[-]の被験者で可視化計測を行ったところ、ALDH2[+]の方が ALDH[-]よりも AcH 濃度が低くなった。また、同様の被験者の飲酒後の呼吸に対し検知管を用いた AcH 濃度の計測の結果と相関性が確認できたことや、呼吸中の AcH ガス濃度と血中濃度との相関が報告されていることから妥当な結果が得られたと考えられる。

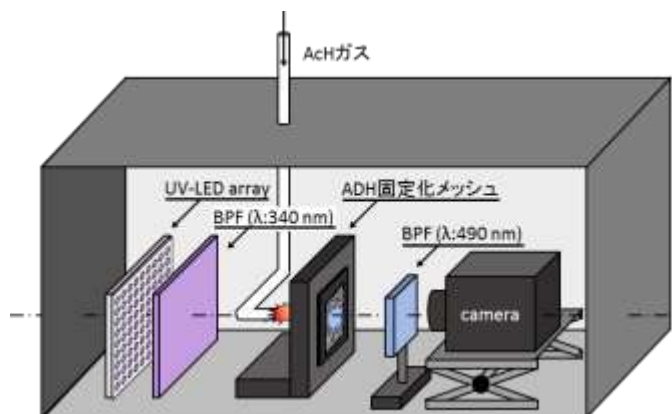


図 1 ADH を用いたアセトアルデヒド用ガス可視化装置

## 酵素式沈殿による出力増幅法を用いたダニアレルゲン Der f 2 用 SAW 免疫センサ

\* 板倉 舞(東京医科歯科大学大学院 歯学総合研究科)

加藤 実里、倉田 香菜子、金森 きよ子(文京学院大学 保健医療科学研究科)

吉村 直之、谷津田 博美(日本無線株式会社)

當麻 浩司、荒川 貴博、\*\*三林 浩二(東京医科歯科大学 生体材料工学研究所)

### 【はじめに】

アレルギーは、通常無害な物質に対して過剰に反応する免疫反応であり、その有病率は世界的な問題となっている。住環境中に広く存在する浮遊ダニアレルゲン(*Dermatophagoides farinae* group 2, *Der f2*)は強いアレルギー性を有することから、「捕集系」と「検出系」を組み合わせた「浮遊アレルギーモニタリングシステム」にて常時計測を行い、暴露回避をすることで疾患予防が期待される。しかし未だ捕集系のアレルギー輸送効率が低いため、検出系に用いるセンサの感度向上が課題であった。本研究では、表面弾性波(surface acoustic wave, SAW)デバイスと pH 変化に高い耐性を持つ膜タンパク質である Orla protein にて迅速かつ繰り返し(半連続に)免疫測定可能な SAW 免疫センサを構築し、酵素反応生成物(沈殿物)を用いた出力増幅を図ることで、高感度な *Der f2* の半連続測定の可能性を検証した。

### 【実験方法】

SAW デバイスは、入出力電極である楕型電極、感応部(SAW 伝搬部)および反射電極で構成されており、SAW が感応部を往復伝搬した際に、表面の粘弾性変化から生じた音速の遅延を入出力信号の位相変化として検出することができる(図 1)。SAW 免疫センサの作製では、はじめに SAW デバイス感応部へ protein G が融合した Orla protein (ORLA85)と (11-mercaptoundecyl)hexa(ethylene glycol) (PEG-thiol)の自己組織化単分子膜を形成した後、捕捉抗体(cAb)を protein G に PEGylated bis(sulfosuccinimidyl)suberate [BS(PEG)<sub>5</sub>] を用いてクロスリンクすることで固定化した。*Der f2* の測定は、SAW 免疫センサへ *Der f2*、酵素 horseradish peroxidase (HRP)標識した検出抗体(HRP-dAb)の順で負荷した後、3 種の基質 [4-chloro-1-naphthol (4CN), 3,3'-diaminobenzidine (DAB), 3,3',5,5'-tetramethylbenzidine (TMB)]と H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> をそれぞれ負荷した。HRP を介した酸化反応の生成物(沈殿物)が引き起こした位相変化量から *Der f2* の濃度を測定した。測定後は、*Der f2* および HRP-dAb を再生剤(HCl または NaOH)により解離させ、センサ表面を再生することで *Der f2* の繰り返し測定の可能性を調べた。

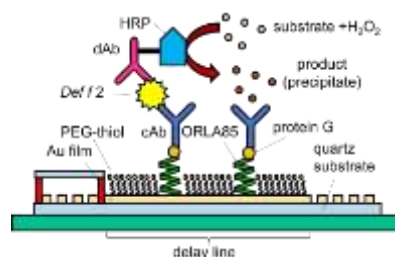


図 1 SAW 免疫センサの構成図

### 【結果及び考察】

図 2 に 4CN を用いた際の *Der f2* 測定における位相変化の様子を示す。4CN を負荷直後に *Der f2* や HRP-dAb に比べ大きな位相変化が生じたことから沈殿物による質量増加の可能性が示された。半連続測定においては測定後の再生率 ( $\Delta P_{Re}/\Delta P_{substrate}$ )が重要であることから、各基質において再生率および出力増幅率を調べたところ、4CN を用いた際に最も高い再生率(113% with pH13 NaOH)と優れた出力増幅が得られたことから 4CN を採用することとした。最後に 4CN 増強型 SAW 免疫センサの定量特性を調べたところ、検出限界は従来の SAW 免疫センサから 206 倍優れた 35 pg/mL (2.3 pM)であった。以上より、酵素式沈殿の有用性が示され、捕集系と組み合わせたモニタリングシステムへの応用が期待される。

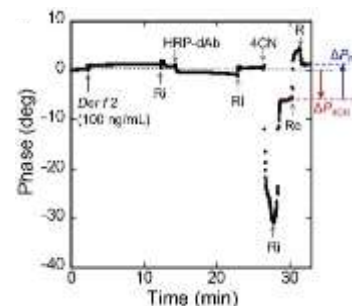


図 2 4CN による *Der f2* 測定の様子



## pH 酵素反応制御による 2 成分計測可能なバイオ蛍光式ガスセンサと呼気計測応用

\* 石月 尚宏、辻井 誠人（東京医科歯科大学大学院 歯学総合研究科）

當麻 浩司、荒川 貴博、\*\* 三林 浩二（東京医科歯科大学 生体材料工学研究所）

## 【はじめに】

呼気には疾患や代謝に由来する様々な揮発性成分が含まれ、呼気計測を行うことで非侵襲かつ簡便な疾患の早期発見や代謝評価が可能になると考えられる。例えば、体内のアセトンは脂質代謝の過程で生成され、余剰のアセトンはイソプロパノール(IPA)の生成を亢進する。これらの成分は血中から呼気として排出されるため、呼気中の両成分を測定することで「詳細な脂質代謝モニタリング」や「確度の高い糖尿病スクリーニング」につながると考えられる。しかし現状のガスクロマトグラフ、半導体ガスセンサでは、ガス種に対する選択性の低さ、連続計測等の課題があるため、簡便な脂質代謝評価が困難である。本研究では、二級アルコール脱水素酵素(S-ADH)の酸化・還元反応に基づくアセトン・IPA 用の「光ファイバ型バイオ蛍光式ガスセンサ (バイオスニファ)」を構築し、呼気アセトン・イソプロパノールの間欠繰返し呼気計測へ適応した。

## 【実験方法】

S-ADH は緩衝液の pH(6.5, 8.5)調整によって(1)式に示すようなアセトンの還元と IPA の酸化反応の両反応を触媒する。

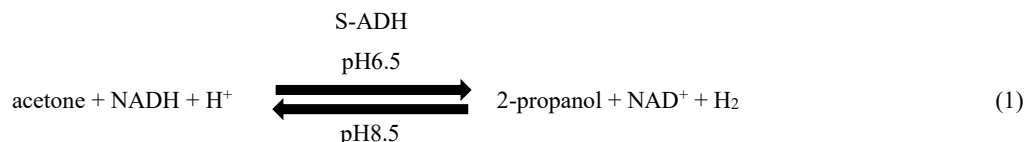


図 1 に示すように、バイオスニファは「二分岐光ファイバ」と「励起光源(UV-LED,  $\lambda = 335 \text{ nm}$ )」、「光電子増倍管(PMT)」から構成され、光ファイバプローブ先端には S-ADH 固定化膜を装着した「気液隔膜フローセル」を取り付け構築した。実験では、対象ガス成分に応じた 2 種の補酵素溶液（アセトン: NADH in pH7.5 100  $\mu\text{M}$  phosphate buffer; IPA:  $\text{NAD}^+$  in pH8.5 1.0 mM Tris-HCl buffer）を切替え、S-ADH の酵素反応により消費（産生）される補酵素 NADH の蛍光(ex.: 340 nm, fl.: 490 nm)の減少（増加）を検出することで、呼気中のアセトン(IPA)の間欠繰返し測定を行った。センサの特性評価では種々の濃度の標準アセトンガス・IPA ガスをセンサ感应部に負荷し、センサの定量特性を調べた。その後、被験者に吸気と呼気が分離できる逆止弁付のマスクを被験者に装着し、ミキシングチャンバーを介して、濃度を平均化させた呼気を連続的にアセトン・IPA 用バイオスニファに負荷させ呼気計測に適用した。

## 【結果及び考察】

バイオスニファで両成分の間欠的な繰返し測定を行ったところ、ガス負荷に伴う速やかな出力の増加と濃度に応じた安定値が確認され、健康者の呼気濃度（アセトン:200–900 ppb, IPA:10–30 ppb）を含む範囲（アセトン:10–3000 ppb, IPA:2–1000 ppb）で定量が可能であった。ミキシングチャンバーを用いた手法でも、呼気の負荷に伴い、S-ADH の触媒反応による NADH 蛍光出力の増減が確認された。平均のアセトン濃度・IPA 濃度を算出すると、1123 ppb（アセトン）・8.4 ppb(IPA)となった。以上の結果より、ミキシングチャンバーを用いた手法でも本バイオスニファによるアセトンと IPA の間欠繰返し計測が可能であり、本センサの呼気計測における有用性が確認された。今後、本センサを用いることにより、非侵襲かつ簡便で継続的な「脂質代謝評価」への応用が期待される。

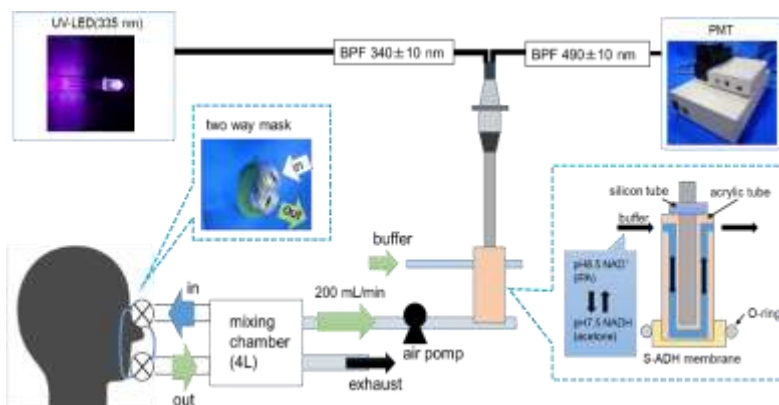


図 1. 呼気アセトン・IPA 間欠繰返し計測用バイオスニファ概要図



## バイオ蛍光式探嗅カメラを用いた生体由来エタノールガスの可視化計測に関する研究

\* 黄 砥、佐藤 敏征 (東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科)

飯谷 健太、當麻 浩司、荒川 貴博、\*\* 三林 浩二 (東京医科歯科大学 生体材料工学研究所)

### 【はじめに】

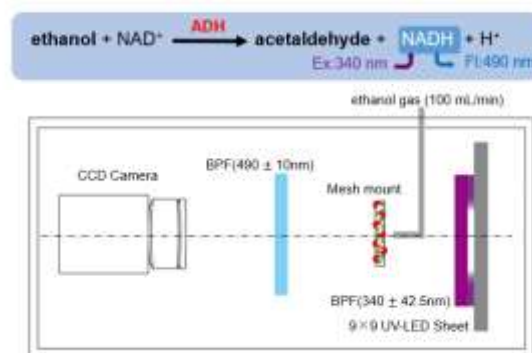
生体ガス中には疾病・代謝に由来する揮発性化合物が含まれており、これら揮発性化学成分を計測することで、非侵襲的な疾病早期診断や代謝評価が期待されている。さらに対象ガス成分を可視化することにより、ガス濃度の時空間情報が明らかとなり、放出動態や部位の特定が可能になると考えられる。本研究では、エタノールガスを対象成分とし、酵素反応にて生成され、自家蛍光を高感度カメラで検出し、エタノールガスの時間的・空間的な変化を動画像として捉える「バイオ蛍光式探嗅カメラ」の構築と高感度可視化計測について検討を行う。さらに、生体由来のサンプルの応用として、構築した可視化システムを用いて、アルコール飲料の摂取後の呼気と手掌部からの皮膚ガスを対象として、生体ガスの可視化計測に適用した。

### 【実験方法】

可視化計測システムでは、還元型のニコチンアミドアデニンジヌクレオチド(NADH)の蛍光に基づいて、エタノールの可視化計測システムを構築する。エタノール(EtOH)はエタノール脱水酸酵素の触媒反応によって酸化・還元反応を生じ、その際に NADH を生成・消費する。NADH は蛍光特性を有するため、UV-LED シートアレイにより励起し得られた蛍光がバンドパスフィルタを介して高感度カメラで検出し、エタノールガスを蛍光可視化する。本システムで、環境光を遮断する暗箱内に、励起光源(UV-LED シート)、励起光用バンドパスフィルタ(BPF,  $\lambda = 340 \pm 42.5$  nm)、ADH 固定化メッシュ、蛍光用 BPF( $\lambda = 490 \pm 10$  nm)、高感度カメラの順で光学同軸上に配置し構築した (図 1)。UV-LED 励起シートは高感度カメラの反対側に配置する。LED シートの前面に励起光用 BPF を設置し、カメラの撮像面側に蛍光用 BPF を設置する。ADH 固定化メッシュは、コットン製のメッシュ担体に 2 官能性試薬であるグルタルアルデヒドによる架橋にて ADH を固定化し、作製した。可視化実験では、補酵素である  $\text{NAD}^+$  (5 mM) を含む緩衝液にて湿潤させた ADH 固定化メッシュを暗箱内に設置し、生体由来エタノールガスを負荷した。そのガス負荷により酵素反応に基づく NADH を UV-LED シートにて励起し、NADH の自家蛍光を高感度 CCD にて可視化測定した。最後に、飲酒後の呼気ガス計測に適用し、生体ガスの可視化計測を行った。

### 【実験結果】

構築した探嗅カメラへ標準エタノールガスを負荷したところ、負荷点を中心としてガス成分濃度に依存した蛍光の増減を観察し、0.5–200 ppm の範囲で定量が可能であった。また呼気に含まれる成分を用いて出力比較を行ったところ、エタノールガスからのみ高い出力が得られ、酵素の基質特異性に基づく高い選択性が確認された。次に飲酒後の呼気と手掌部からガスを本システムに応用したところ、飲酒後 30 分をピークとする呼気中エタノール濃度の経時変化が観察された。以上により、本システムは生体由来の揮発性成分を可視化することが可能であり、生体ガスの発生を詳細に評価可能であると考えられた。



(図 1 UV-LED シートを用いたエタノールガス用の蛍光可視化システム)

## 咬合圧による外部機器操作を目的とした BLE マウスガード型デバイスに関する研究

\*稲毛崇之、戸本佳佑(東京医科歯科大学 医歯学総合研究科)

横田くみ、菅麻 浩司、荒川 貴博、\*\*三林 浩二(東京医科歯科大学 生体材料工学研究所)

### 【はじめに】

四肢麻痺は脊髄損傷や染色体異常により発症し、四肢麻痺の患者は運動障害等、日常生活に重大な制約を受ける。四肢麻痺患者の QOL の向上を目的に、今日では四肢を用いずに外部端末操作を行う研究が行われてきた。近年では、頭皮に装着した電極から獲得した脳波を検出し、パターン認識により機器操作を行う BMI(Brain Machine Interface)等の研究も行われている。しかしながら、脳波のパターン解析に時間がかかる等の改善点も多い。一方で、四肢麻痺患者の多くは咬合や舌の動きは維持される。そこで我々は、口腔内制御による外部端末操作を目的とし、最近開発した唾液中の糖濃度を連続的計測が可能なマウスガード(MG)型バイオセンサの技術を応用する事で、マウスガード内に圧力センサと BLE を組み込んだマウスガード型コントローラを開発した。

### 【実験方法】

実験では、1 枚目の MG 材料上に圧力センサを設置し、吸引型成形機で加熱軟化させた 2 枚目の MG 材料を圧力センサに押し付け吸引整形し、ヒートガンを用いて熱溶着する事で圧力センサを密閉した MG 型コントローラを作製した(図 1)。圧力センサの定量特性を評価するために、圧力センサに対して引張圧縮試験機を用いて 0-60 N の加圧を行った。センサの駆動にはポテンショスタットを用いて 400 mV の定電圧を印加した。続いて、コントローラの操作性を評価するために 1 枚目の MG の上顎の前歯口蓋側に 1 つ、下顎の第一臼歯咬合面に左右 2 つの圧力センサを設置した。また、それぞれ対となるように頬側に無線計測器を設置し、再度同様の方法で 2 枚目の MG を成形し、ヒートガンで熱溶着した。その後、作製した MG 型コントローラの応答性を、口腔ファントムを用いた咬合試験により評価した。また、MG 型コントローラ内の無線計測機と同時接続し、計測値を元に画面上のポインタを操作する Android アプリを開発し、センサ部を指で押す事でアプリ上でのポインタ操作の評価を行った。

### 【結果及び考察】

MG 材料に内包した圧力センサの定量特性を評価した結果、1.7 N-50.2 N の範囲内で定量可能となり、出力は双曲線関数となった。ヒトの咀嚼時の咬合圧は通常は 100-200 N である事から、現在は弱い咬合状態で計測可能であると考察される。また、口腔ファントムを用いて 20 N で繰り返し咬合した結果、前歯部では 2.5  $\mu$ A 程度の出力を、第一臼歯部に設置したセンサでは 2 N の出力を得られた。同様に、咬合圧を 5-20 N で変化させた際の出力を比較すると、最大出力値はどちらも異なった。これは、歯列の咬合パターンにより、咬合圧に圧力分布が生じる事や設置位置の立体構造に由来すると考えられる。MG 型コントローラを手指で押し操作した結果、アプリケーション上で示されるポインタは手指で押した直後に移動し、指を離すとポインタの移動は停止した。以上の結果により、咬合による機器制御の可能性が示された。今後はセンサ部の位置の最適化を行い、操作の評価を行う。



図1 マウスガード型コントローラの概略図

## BCI 利用に向けた SSVEP の特性の検討

\*大幸 薫子(東海大学基盤工学部医療福祉工学科)、河内 悠夏(東海大学基盤工学部医療福祉工学科)、  
山崎 清之(東海大学工学部医用生体工学科)、\*\*木村 達洋(東海大学基盤工学部医療福祉工学科)

### 1. はじめに

BCI(Brain-Computer-Interface)とは、脳波などの脳活動の指標を利用してコンピューターを利用する技術である。筋萎縮性側索硬化症(ALS)などの患者においては、脳で直接制御できる BCI は非常に期待されており、近年多くの研究が行われている。また、SSVEP とは定常的な視覚刺激で誘発される視覚誘発電位であり、BCI で利用される脳信号の一つである。そこで本研究では、BCI 利用に向けた SSVEP の誘発特性について、刺激画像の大きさと色の観点から検討を行った。

### 2. 実験方法

SSVEP の誘発刺激として、Fig.1 に示す 400×400pixel の Black/Dark grey/Grey/Light grey の刺激画像を用いた。また、刺激画像サイズの特性比較として 200×200pixel の Black を用いた。これらの刺激画像を PC 画面上に 8, 10, 12Hz で点滅させ、被験者には約 50cm の距離で 1 分間注視させた。また脳波は 10-20 法に基づき、P3、P4、O1、O2 から耳朶を基準として単極導出し、オフラインで FFT 解析した。



FFig.1 刺激画像色

### 3. 実験結果

Fig.2 に Black 画像を 8Hz で点滅させた際の脳波スペクトルを示した。このように、点滅周波数に同期するようにスペクトルが観察されるのが SSVEP であり、その 2 倍や 3 倍の高調波も観察される。Fig.3 は刺激周波数の前後 0.5Hz 帯域における脳波スペクトルの積分値を刺激色ごとに比較したものである。Black で最も大きく観察され、Light grey では Black の 55%程度の出現率であった。この傾向は、12Hz の刺激では多少隠微であったものの、概ね同様の傾向であった。また、Fig.4 は大小 2 つの画面での比較であり、小画面では優位に小さくなることが認められた。

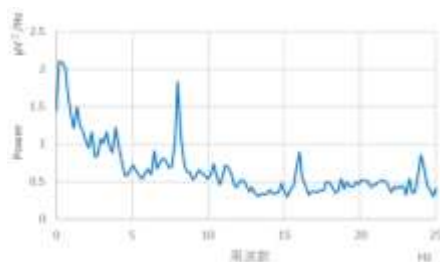


Fig.2 Black 8Hz 点滅時の脳波スペクトル

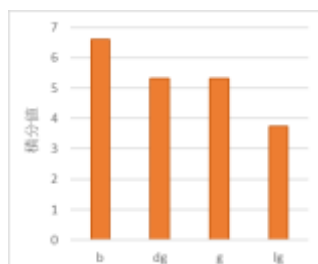


Fig.3 刺激色毎のスペクトル積分値

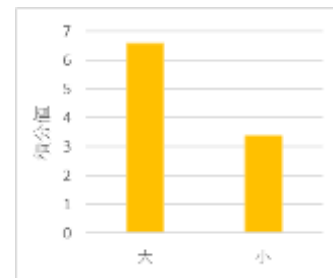


Fig.4 画像サイズ毎のスペクトル積分値

### 4. 考察

本実験では SSVEP の諸特性について検討した。その結果、刺激色が薄くなると SSVEP の出現パワーが減少することが認められた。また、本実験における Dark grey と grey ではほとんど差がなかったが、実験後の聞き取りによると色の差を感じられなかったと報告しており、主観的な感覚と SSVEP の出現は相関していることが示唆された。また、刺激画面の大きさにおいては小さい場合に SSVEP の出現が減少することが認められた。単に刺激強度の違いが表れたものと思われるが、BCI として利用する際は刺激強度との関係に注意することが重要と言える。今後は刺激色や大きさについて詳細に検討し、BCI の実用上必要な特性について検討する予定である。

## スイゼンジノリ養殖と食と健康にまつわる実用化

**\*船田彩香**（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、**河内悠夏**（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、**大幸薫子**（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、**\*\*木村達洋**（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、**福岡稔**（東海大学 九州教養教育センター）

### 1. はじめに

スイゼンジノリ細胞外寒天質には多糖類サクランが含まれるが、これはヒアルロン酸の10倍の保水力があり、重量比で6100倍の水を吸着することが分かっている。また鉄分など陽イオンを良く吸着することから、レアアースの回収に有効であることが期待されていることや非常に切断されにくい繊維で、絡み合うことで強い薄膜を形成する特性などから、化粧品、栄養補助剤品やの応用で注目されている。

本研究では阿蘇・南阿蘇地域の産業活性化の一環としてスイゼンジノリに含まれる高機能高分子サクランの可能性を探る。さらに美しい水質でしか育成できないスイゼンジノリ養殖を通して九州の水ガメである阿蘇の環境保全意識の向上と水の郷としての誇りを醸成することを目的とする。

### 2. 実験方法

今回は熊本県全体にわたる湧水地の水質検査（水温、イオン強度など）を行い、スイゼンジノリ養殖に最適な条件を見積もること、最適な養殖条件の検討を行った。水温・イオン強度については水前寺江津湖、白川（熊本市内）、宮山水系（阿蘇市国造神社）、阿蘇谷（阿蘇中央高校敷地内）、南郷谷白水（南阿蘇村）の水質を調査した。測定にはポータブル電気伝導率計（CM-14P；東亜ディーケーケー）を用いた。またスイゼンジノリ養殖装置および太陽光水温上昇装置は自家製である。

### 3. 実験結果と考察

Table1に遊水地の電気伝導率および水温を示した。とくに宮川水系における湧水の電気伝導度は他の水源に比較して半分程度しかなく極めて電解質が少ない軟水であることが分かった。

Table 1 湧水地ごとの電気伝導率と水温

|                                      | 水前寺<br>江津湖 | 白川<br>(熊本市内) | 宮山水系<br>(阿蘇市国造神社) | 阿蘇谷<br>(阿蘇中央高校敷地内) | 南郷谷白水<br>(南阿蘇村) |
|--------------------------------------|------------|--------------|-------------------|--------------------|-----------------|
| 電気伝導率<br>( $\mu\text{G}/\text{cm}$ ) | 246        | 330          | 80                | 270                | 250             |
| 水温 (°C)                              | 19.3       | 17.8         | 13.8              | 16.8               | 15              |

Fig.1にはスイゼンジノリ養殖容器、Fig.2には養殖しているスイゼンジノリの写真を示す。育成条件として必須となる条件は水温が15°C以上であることであった。また水温上昇を太陽光による昇温装置を自作して日中の温度上昇能力を見積もった。その結果、小型の昇温装置によって2°C程度の温度上昇が確認されたことから、冬季の養殖も可能であることが確認できた。

今後は日照量、アンモニア態窒素、硝酸態窒素濃度などより詳細な水質測定による養殖条件の検討を行う予定である。

本研究は東海大学連合後援会研究助成を受けて実施しています。



Fig.1 養殖容器



Fig.2 スイゼンジノリ

## 難易度の異なる言語課題遂行時の脳血流の検討

\*庭野翔（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、山崎清之（東海大学 工学部 医用生体工学科）、\*\*木村達洋（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）

### 1. はじめに

NIRS とは生体透過性の高い近赤外光(波長は 700~1000nm)を用いて非侵襲的に生体内の酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの相対濃度と更にその和である総ヘモグロビンを算出でき、特に酸素化ヘモグロビンの変化量は脳活動量に密接に関連しているとされる。本研究では難易度の異なる言語課題を用いて脳血流の変化について検討した。

### 2. 実験方法

難易度の異なる言語課題として、以下の 4 種類を行わせた。

I. 50 音を発話させる。 II. しりとりを一人で行わせる。 III. 食べ物に限定したしりとりを一人で行わせる。 IV. 3 文字の単語のみで真ん中の文字を使用する、中抜きしりとりを一人で行わせる。また、しりとりの最初の文字は毎セットランダムで指定した。各課題は Fig. 1 に示すブロックデザインで 8 セット行わせ、脳血流は 8 セット遂行時の加算平均を求め算出した。また、計測中は 50cm 前方に提示した個視点を凝視させた。

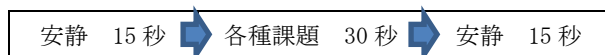


Fig. 1 実験のブロックデザイン

脳血流の計測は LIGHTNIRS（島津製作所社製）を用い、プローブを言語野の存在する国際 10-20 法による T3, T4 を中心に両側各 10ch 配置し計測を行った。

### 3. 実験結果と考察

実験結果は本実験で最も特徴的な波形が現れた T3 の結果を示す。Fig. 2-1~Fig. 2-4 は各課題遂行時の脳血流の変化を示したものである。横軸は時間(s)を表し 0(s)が課題開始時点である。また、縦軸はヘモグロビンの濃度変化量 (mM・mm)である。

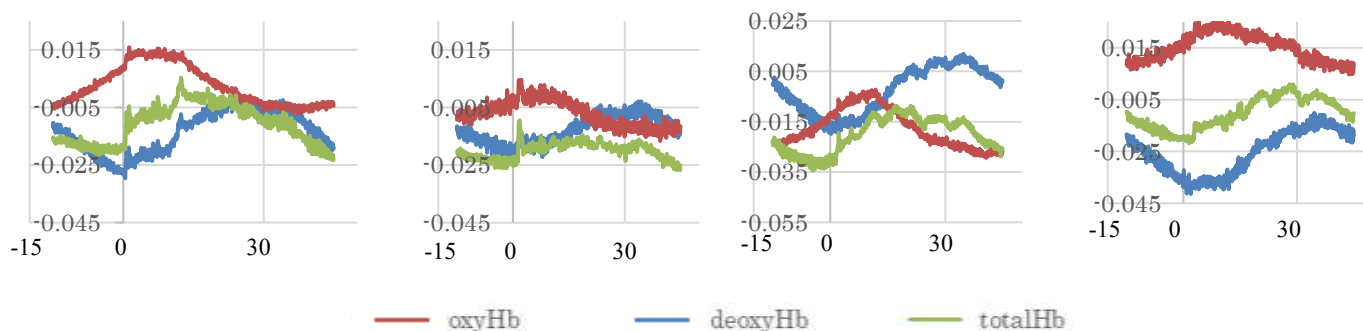


Fig2-1 50音

Fig2-2 しりとり

Fig2-3 食べ物

Fig2-4 中抜き

oxyHb の変化量に着目すると、実験開始後中抜きしりとりで最も大きな変化が認められた。また、食べ物限定のしりとりも同様の変化が認められたが、通常のしりとりではその変化量は小さいものとなった。50 音の発話はもっとも簡単な課題として設定したが、通常のしりとりよりも大きな変化量となった。終了後の聞き取り調査によると、50 音は後半部分で少し考えることがあり、中抜きしりとりが一番難しかったと報告しており、被験者の主観的な難易度と一致していることが推察された。

今後は左右差の検討や、電気生理学的観点からの実験と組合せ認知課題と脳機能の活動について、より詳細に検討していく予定である。



## 精神性ストレス負荷時における複数の指標を用いた自律神経系評価

\*澤見真由(東海大学 医療福祉工学科)、菅野佳鈴(東海大学 医療福祉工学科)、西田彩華(東海大学 医療福祉工学科)、山崎清之(東海大学 医用生体工学科)、\*\*木村達洋(東海大学 医療福祉工学科)

### 1. はじめに

ストレス下においては様々な影響が身体へ生じ、自律神経系の計測によりそのストレスを評価する研究は非常に多く行われている。一方で自律神経系の評価は様々な方法が取られているものの、単にストレスのみによる影響を測定することは非常に難しい。そこで本研究では計算課題負荷時における自律神経系への影響を、心電図の HRV 解析・脈波伝搬時間・唾液アミラーゼの3種類の指標を用いて検討した。

### 2. 実験方法

被験者に以下に示す難易度の異なる3段階の計算課題を行わせた。難易度は1. 繰下がりのない2桁の引算 2. 繰下がりのない3桁の引算 3. 繰下がりのある3桁の引算とし、各課題の前後10分間は安静状態で待機させた。課題遂行中はPowerLab (ADInstruments 社製) で心電図の第2誘導と指尖脈波を計測し、各課題前後に唾液アミラーゼ計測を行った。

得られた心電図のR-R間隔系列よりスペクトルを算出し、高周波成分 HF (0.15~0.4Hz) と低周波成分 LF (0.04~0.15 Hz) のスペクトルパワーを求め、HF を副交感神経、LF/HF を交感神経の活動指標とした。脈波伝搬時間は心電図のR波から脈波のピークまでの時間を求めた。これが短縮することは交感神経の活動が優位になったことを示す。また、唾液アミラーゼ計測は、安静後・課題後にそれぞれ測定した(計7回)。唾液アミラーゼ活性もストレス下で増加することが知られ、交感神経系の活動指標となる。

### 3. 結果

Fig. 1 に各区間の HF と LF/HF の変化、Fig. 2 に唾液アミラーゼ活性の変化を示した。また、脈波伝搬時間は Fig. 3 に示したように経時的な変化として算出され、この例では課題遂行中に優位に脈波伝播時間の短縮することが示されている。本項では脈波伝播時間を各区間の平均値として Fig. 4 に示した。Fig. 1 では、安静時と比較して課題遂行時に交感神経の指標となる LF/HF が上昇したが、課題難易度による差は一部に留まった。Fig. 2 では、高難易度の課題3遂行時に唾液アミラーゼが上昇したが、低難易度ではあまり大きな変化は認められなかった Fig. 4 の脈波伝播時間の変化は課題遂行時に優位に短縮したが、難易度の差は認められなかった。

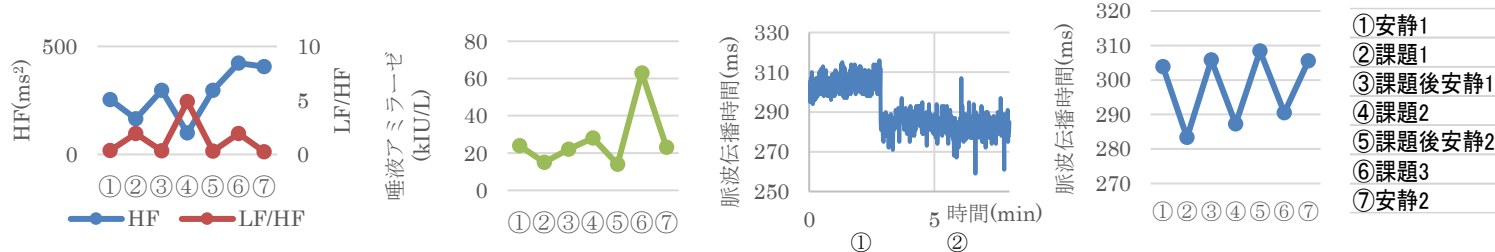


Fig. 1 心拍変動

Fig. 2 唾液アミラーゼ活性

Fig. 3 脈波伝播時間の変化例

Fig. 4 脈波伝播時間の変化

### 4. 考察

計算課題中の自律神経系活動を、3種類の評価法を用いて検討した。その結果、全ての課題難易度に相関して変化する評価法はなかったが、HRV解析では低・中難易度において相関が認められた。また、高難易度では唾液アミラーゼ活性において相関が認められた。自律神経系の活動は単に on-off の関係ではない上、様々な生理指標が複雑に関係していると考えられる。そのため、評価法ごとに反応する負荷量が異なることができる。したがって、複合的に評価法を用いることで、より詳細な評価が可能であることが示唆された。今後のより詳細な検討を行う予定である。



## ポリマー中の水の運動性と血液適合性について

\*齋藤晴世 \*\*望月明（東海大学工学部医用生体工学科）

### 【緒言】

これまで、医療材料の血液適合性については多くの報告があるが、血液適合性発現の理由はいまだ十分に解明されていない。これまで我々は血液適合性に優れた Poly(2-methoxy ethyl acrylate) [PMEA] の血液適合性発現について NMR を用いた PMEA 中の水の状態観察から検討している。そして、通常の水に近い化学 shift を有する水（低磁場 peak）に加え、高磁場側に強い peak として現れる水の存在を見出し (Fig. 1)、この高磁場側の水が適合性に関与しているのではと推察している。しかし、水が相互作用するポリマー側の特徴についてはまだ解明されていない。そこで、本研究は NMR を用いて水分子が PMEA 分子のどの部位と相互作用するかを明らかにすることを目的とする。

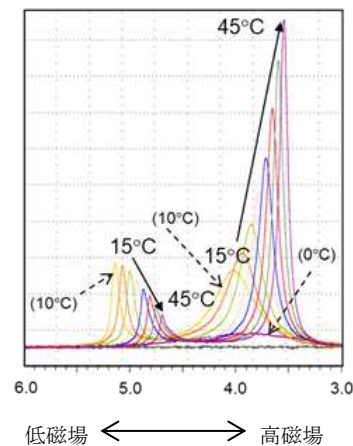
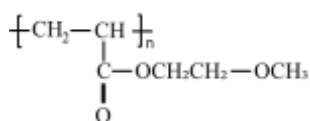


Fig.1 wetPMEA の<sup>2</sup>H スペクトル

### 【実験】

(1) 試料：飽和含水 Poly(2-methoxy ethyl acrylate)（水として重水を使用）[wetPMEA]

dryPMEA



(2) 分子運動性：400MHzNMR を用いて 15°C～45°Cでの wetPMEA、dryPMEA の<sup>13</sup>C-T<sub>1</sub>緩和時間を測定した。

### 【結果及び考察】

NMR による運動性解析においてポリマーの運動性が増すと T<sub>1</sub>緩和時間は、液体状態では運動性が上がるほど長くなり、固体状態では運動性が上がるほど短くなる。一方、一般論として、温度が上昇すると分子運動性は激しくなる事は公知である。そこで、wetPMEA について、まず、T<sub>1</sub>緩和時間の温度依存性を調べた。その結果の一部、メトキシ基、カルボニル基の<sup>13</sup>C-T<sub>1</sub>緩和時間を Fig.2,3 に示す。温度上昇に伴い、メトキシ基の T<sub>1</sub>緩和時間は長くなり、カルボニル基の T<sub>1</sub>緩和時間は短くなった。これにより、含水状態の PMEA では、メトキシ基は液体状態、カルボニル基は固体状態にあることが分かる。これらの結果と水を含まない dry 状態の PMEA の各官能基の運動性の比較から、相互作用部位を明らかにする。詳細については当日報告する。

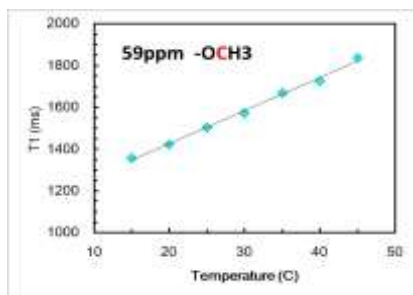


Fig.1 wetPMEA のメトキシの<sup>13</sup>C-T<sub>1</sub>緩和時間

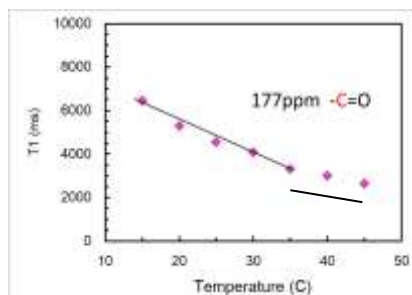


Fig.3 wetPMEA のカルボニルの<sup>13</sup>C-T<sub>1</sub>緩和時間

## ポリブチルアクリレートの分子量と血液適合性について

\*石井絢美、\*\*望月明(東海大学工学部医用生体工学科)

### 【目的】

一般的に、PMEA(Poly(2-methoxy ethyl acrylate))は血液適合性に優れていることが知られている。その理由の一つとして PMEA の分子の運動性の高さがある。一方、PMEA と類似した化学構造を有する PBA(Poly (butyl acrylate))は血液適合性が悪いと言われている。そこで本研究では PBA の分子量を変えることで分子運動性が変わると考えられることから、分子量と適合性の関係について検討することとした。Fig-1 に PMEA の構造を、Fig-2 に PBA の構造を示す。

### 【試料】

BA をラジカル重合して PBA を作製し、以下の実験に用いた。

また、POA(Poly (octyl acrylate))も作製し、コントロールとして同様に各実験に用いた。

### 【実験】

#### 1. 接触角

接触角計を用いて、各ポリマー表面に対する水の接触角を測定した。

#### 2. 凝固因子(FX)活性化能評価

試料と血液を 37℃にて 1 時間接触させ、その血漿を FXa 用合成基質(Boc-Ile-Glu-Gly-Arg-MCA)と混合して静置した。このときの基質加水分解物量を蛍光で計測し、凝固因子(FX)の活性化レベルを評価した。

#### 3. 吸着フィブリノーゲン活性化能評価 (ELISA 法)

血漿を試料と接触させ、表面に吸着したフィブリノーゲンの活性化にともない露出する γ 鎖を特異的に認識する抗体を利用した ELISA 法から求められる吸光度を γ 鎖の活性化レベルの指標とし、適合性を評価した。

#### 4. 蛋白吸着試験

フィブリノーゲン溶液を試料と接触させて吸着したフィブリノーゲン量を μ-BCA 法にて定量した。

### 【結果及び考察】

ラジカル重合により作られた各ポリマーの分子量を Table-1 に示す。これより、PBA の分子量(Mn)は 3400~59700 の範囲にあることが分かった。

凝固因子活性化評価の結果を Fig-3 に示した。

各ポリマーごとの活性化レベルを、Pre(採血直後の血漿の FXa 活性レベル)を 100%として比較すると、PBA は分子量に関係なく PMEA と同程度の活性化レベルであり、凝固因子に対する適合性は PMEA と推定される。その他詳細は当日報告する。

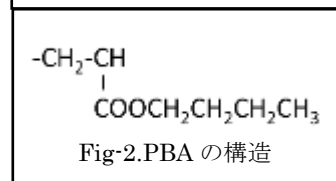
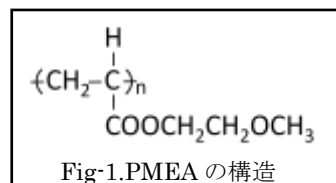


Table-1.GPC 測定結果

|      | Mn    | Mw     | Mw/Mn |
|------|-------|--------|-------|
| PBA① | 3400  | 11200  | 3.25  |
| PBA② | 6400  | 19500  | 3.05  |
| PBA③ | 14400 | 32600  | 2.26  |
| PBA④ | 26000 | 61700  | 2.37  |
| PBA⑤ | 59700 | 140000 | 2.35  |
| POA  | 27100 | 36200  | 1.33  |

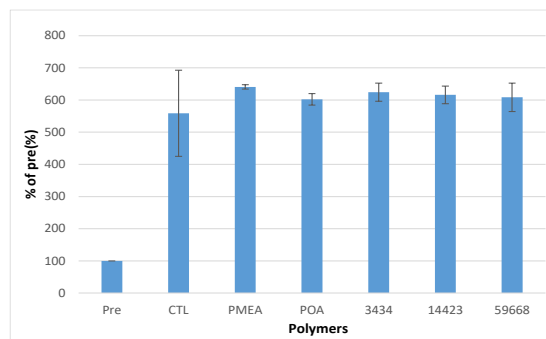


Fig-3.ファクターXa 活性

## 液状ポリエステルの血液適合性について

\*中島 洋 \*\*望月 明（東海大学工学部医用生体工学科）

### 【緒言】

これまで、医療材料の血液適合性については多くの報告があるが、血液適合性発現の理由はいまだ十分に解明されていない。これまで我々はこの適合性発現において、水と相互作用する官能基の運動性と材料内の水の構造が関与すると仮定し、種々研究を進めている。そこで本研究では官能基としてエステル基に注目して血液適合性とその運動性の関係について検討することを目的とする。

### 【実験】

(1) 試料：本実験にて使用した両末端アルキリエステル型ポリマーとその略号を以下のように示す。

＜エステル系ポリマー＞

①1,5-Dihydroxy-3-methylpentane (MPD) と adipic acid を脱水縮合させたポリマー[P-1010、P-2010、P-4010、P-6010]

②1,5-Dihydroxy-3-methylpentane (MPD) と adipic acid と isophthalic acid を脱水縮合させたポリマー[P-2012]

③MPD と isophthalic acid を脱水縮合させたポリマー[P-2030]

(2) 接触角：接触角計を用いて、各ポリマー表面に対する水の接触角、また水中における気泡の接触角を測定した。

(3) 血小板適合性：血小板浮遊血漿( $1.0 \times 10^5$  cell/ $\mu$ L)を 37℃にて 2 時間試料と接触後、SEM 像から求まる粘着血小板数を適合性の指標とした。

(4) 吸着フィブリノーゲン活性化レベル：ヒト血漿をポリマーに接触後、ポリマーに吸着したフィブリノーゲンの活性化の程度をフィブリノーゲンの  $\gamma$  鎖に対し特異的に反応する抗体を用いた ELISA 法にて測定。

(5) フィブリノーゲン吸着レベル：フィブリノーゲン溶液を試料と接触させて吸着したフィブリノーゲン量を  $\mu$ -BAC 法にて定量した。

(6) アルブミン吸着レベル：アルブミン溶液を試料と接触させて吸着したフィブリノーゲン量を  $\mu$ -BAC 法にて定量した。

### 【結果及び考察】

GPC より得られた分子量測定の結果を Table.1 に示す。Mn（数平均分子量）、Mw（重量平均分子量）は上記ポリマー①の脂肪族ポリエステルでは Mn2000～10000 の範囲に芳香族の入ったポリエステルであり、ポリマー②③は Mn4000 程度である。また、Mw/Mn（分子量分布）は 1.47～1.66 の範囲に収まっている。

フィブリノーゲン吸着レベルは P-2010 が他の P-2012、P-2030、P-4010、P-6010 と有意な差があることがわかる。

その他また、詳細に関しては当日報告する。

Table.1 キャラクタリゼーション

|        | Mn    | Mw    | Mw/Mn |
|--------|-------|-------|-------|
| P-1010 | 1930  | 3157  | 1.64  |
| P-2010 | 4242  | 6717  | 1.58  |
| P-2012 | 4000  | 5700  | 1.43  |
| P-2030 | 3670  | 5397  | 1.47  |
| P-4010 | 7935  | 12399 | 1.56  |
| P-6010 | 10644 | 17697 | 1.66  |

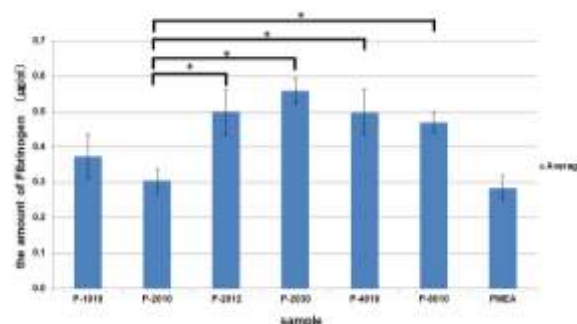


Fig.1 フィブリノーゲン吸着レベル (n=7, mean±SD)

\*0<0.05 p (Tukey)で有意差あり

## カルボキシ基を有するプルラン誘導体の血液適合性について

\*高倉良太 \*\*望月 明 (東海大学工学部医用生体工学科)

## 【緒言】

近年、環境問題から自然界で分解される天然高分子に期待が集まっている。本研究では、多糖類の一種で造膜性が高く生体に対して安全性が高いことが知られている天然多糖類のプルランをベースに 2 種類のカルボン酸を用いてエステル化させ得られたカルボキシ基 ( $-COOH$ ) を有する材料の血液適合性を検討したので報告する。

## 【実験】

プルランに無水酢酸と無水コハク酸を Table.1 に示す割合で加えエステル化させた。この構造式を Figure 1 として示す。また、このポリマーに対する比較対象として市販のセルローストリアセート[CTA]を使用した。

実験の方法の一部を以下に示す。



Figure 1. Chemical structure of polymers

1、ポリマー同定：GPC にて行った。

2、接触角：接触角計を用いて各ポリマー表面に対する水の接触角を測定。

## 【結果および考察】

各ポリマーのキャラクタリゼーションの結果を Table.1 に示した。平均分子量より、各ポリマーのコハク酸の割合が増加しても変化はなく、およそ 1 2 万～1 4 万前後の分子量であると考えられる。

Fig.2 に表面濡れ性を比較するための接触角（液滴法）の結果を示した。これより、無水コハク酸の仕込み割合が増すにつれて角度が下がっている。すなわち親水性表面となっている。その他実験の結果や詳細は併せて当日報告する。

Table .1 Characterization of polymers

| ポリマー   | 仕込比※<br>(無水酢酸: 無水コハク酸) | Molecular Weight |           |             |
|--------|------------------------|------------------|-----------|-------------|
|        |                        | Mn (平均分子量)       | Mw (重量平均) | Mw/Mn (分布幅) |
| p-0    | 3:0                    | 149300           | 478300    | 3.2         |
| p-0.05 | 2.95:0.05              | 114200           | 235600    | 2.06        |
| p-0.1  | 2.9:0.1                | 114000           | 197100    | 1.73        |
| p-0.15 | 2.85:0.15              | 142600           | 292400    | 2.05        |
| p-0.2  | 2.8:0.2                | 46700            | 86200     | 1.85        |

※プルラン 1 ユニットの水酸基数を 3mol とする

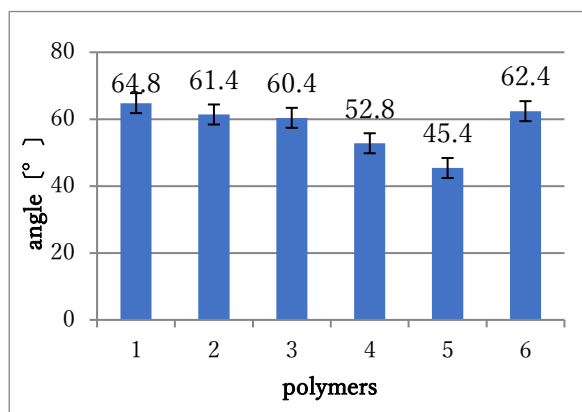


Figure2. Water droplet contact angle

## ヨウ素溶液中でのヨウ素化によるヨウ化銅薄膜の特性変化

\*畑由鶴、磯村雅夫、\*\*金子哲也(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. 研究目的・背景

昨今新しいp型の半導体として注目されるヨウ化銅(CuI)は、作成が容易に行え、透明で高い正孔移動度を持つなど多くの利点を持っている。これまで我々は、CuI薄膜の作成では窒化銅(Cu<sub>3</sub>N)薄膜に固体のヨウ素を反応させる手法を用いてきた。しかし、この方法で生成したCuI薄膜には、反応むらが見られることが問題となっていた。そこで、反応時のむらを抑える方法として、ヨウ素をエタノールに溶かした溶液中でのヨウ素化を試みた。今回、Cu<sub>3</sub>N薄膜をヨウ素溶液中でヨウ素化して得られたCuI薄膜の光学特性、電気特性を評価し、溶液による反応の影響を調査した。

### 2. 実験方法

ガラス基板(無アルカリ)上にRFマグネトロンスパッタリング法で電力40 W、圧力1 Pa、Ar・N<sub>2</sub>ガス比50:50、ターゲット-基板間距離17 cm、成膜時間35 minの条件でCu<sub>3</sub>N薄膜を成膜した。そのCu<sub>3</sub>N薄膜に対し、0.02 Lのエタノールに固体のヨウ素を完全に溶かしてそれぞれ0.01 mol/L、0.05 mol/L、0.09 mol/Lに調製した、濃度の異なるヨウ素溶液を用いて1時間ヨウ素化を行った。以上の手順により作成したCuI薄膜の透過率、反射率、導電率などの評価を行った。

### 3. 実験結果・考察

図1、2にそれぞれ濃度の異なるヨウ素/エタノール溶液中でヨウ素化したCuI/ガラスの透過率、反射率を示す。図1、2より濃度0.09 mol/Lではガラス基板に近い透過率、反射率となっている。それに比べ0.01 mol/L、0.05 mol/Lの溶液を用いて作成したCuI薄膜は透過率、反射率ともに低い値を示した。今回のヨウ素溶液による反応では、目視では白色で透明性が低くなっているため、表面の凹凸の影響で特に可視光領域において拡散透過が生じているとみられる。今回、透過率は正透過を評価しているため、図1のように透過率が低下したと考えられる。また、濃度が濃い溶液での反応時には分解が起こることが分かった。発表ではさらに、反応時間の影響などを合わせて報告する。

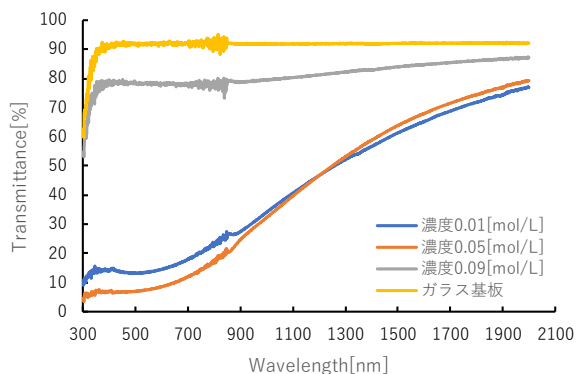


図1. 濃度変化による透過率比較

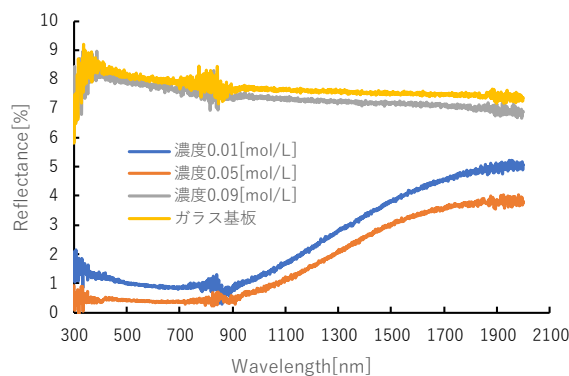


図2. 濃度変化による反射率比較

謝辞 本研究の一部は、東海大学総合研究機構「プロジェクト研究」の援助を受けて行ったものである

## 窒化銅薄膜成膜時のターゲット-基板間距離が膜特性に与える影響

\*佐藤祐希(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、畑由鶴(東海大学工学部電気電子工学科)、  
磯村雅夫(東海大学工学部電気電子工学科) \*\*金子哲也(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. 研究背景・目的

ヨウ化銅(CuI)は数少ないワイドギャップP型半導体の1つであり、作製に毒性の強い物質を使用せず、低温での作製が可能であり、ITOなどのように希少金属を使用することもないという優れた特徴を持つ。そのため、透明半導体の今後の発展において重要な役割を果たす可能性を持つ物質である。しかしながら、CuIの作成には未解明の点が多いというのが現状である。今回は、CuIを作成する段階で成膜する窒化銅(Cu<sub>3</sub>N)成膜時のターゲット-基板間距離が、作成するCuIの膜特性に影響を与えるのか調査した。

### 2. 実験方法

今回の実験では無アルカリガラスを基板とし、RFスパッタ装置(ULVAC、SBH-1304RE)を用いて電力70W、基板温度25℃(室温)、ArとN<sub>2</sub>のガス比率(N<sub>2</sub>/(Ar+N<sub>2</sub>))を50%と固定し、圧力を4.0、7.0、10.0Paと変化させCu<sub>3</sub>Nを成膜した。この時、ターゲット基板間距離を15-19cmの間で変化させ実験した。その後、作成したCu<sub>3</sub>Nを固体ヨウ素と60分間反応させてヨウ素化し、得られたCuI薄膜の導電率、光学的吸収端の評価を行った。

### 3. 実験結果・考察

得られたCuI薄膜の導電率を図1に、4.0Paで成膜した時の光吸収係数の吸収端を図2に示す。図1より、作成したCuI薄膜の導電率はCu<sub>3</sub>N薄膜成膜時のターゲット-基板間距離に依存せず、一定の値になることが確認できた。図2より、4.0Paで成膜した時のCuI薄膜は、ターゲット-基板間距離が15cmのサンプルが、他のサンプルより低い光吸収係数を示した。しかし、いずれのサンプルも光吸収端は一致する結果となった。よって、窒化銅薄膜成膜時のターゲット-基板間距離が、得られるヨウ化銅薄膜の膜特性に大きな影響を与えることは、この範囲の変更ではないものと考えられる。

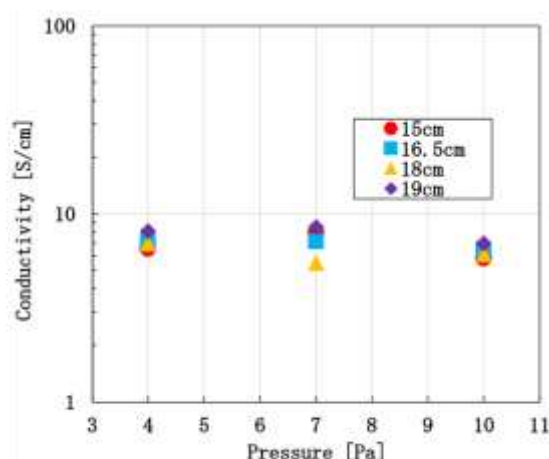


図1. CuI薄膜の導電率

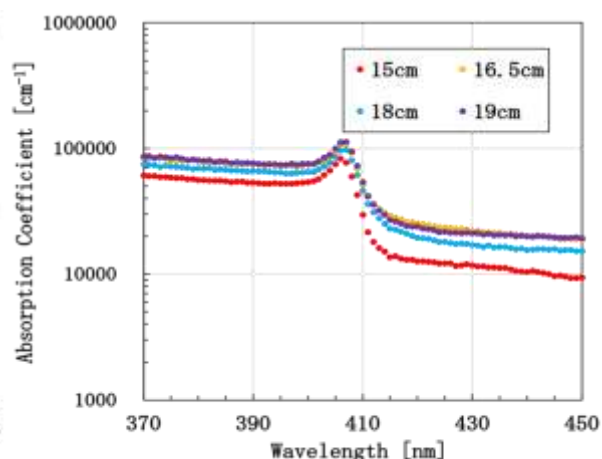


図2. 4Paで成膜したCuIの光吸収端

謝辞 本研究の一部は、東海大学総合研究機構「プロジェクト研究」の援助を受けて行ったものである。



## 電気化学的水素添加による Ti 薄膜の面内応力の検討

山口健吾（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、神谷証人（東海大学工学部原子力工学科）、金子莉久（東海大学工学部原子力工学科）、秋山拓紀（東海大学工学部原子力工学科）、井上勝利（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、常盤蓮（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、片岡竜一（東海大学工学部原子力工学科）、源馬龍太（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、内田ヘルムート 貴大（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、\*\*松村 義人（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）

### 【緒言】

金属薄膜は優れた機械的特性、電気的特性、磁歪特性を有しており、各種の薄膜デバイスに利用されている。金属薄膜は成膜時に発生する面内応力の変化によって、薄膜の薄膜特性が変化することが知られている。そのため面内応力の制御はデバイス特性を向上させるためにも重要である。従来、薄膜の面内応力制御は、成膜時の基板温度、基板バイアス、スパッタガス種などの成膜時の条件を変化させることによって行われてきた。しかしながら、これらの方法では、基板温度による熱応力の影響や成膜時のパラメータが多くなる等の欠点があった。金属薄膜内に水素を固溶・拡散させることで、金属薄膜の膨張が基板によって制限を受けることから面内応力が発生することが知られている。その際、金属薄膜の膨張と金属中水素量は固溶範囲において、おおそ比例関係になるため、面内応力制御が可能であると考えられる。そこで本研究では、金属薄膜内に定量的に水素を添加することが可能な電気化学的水素添加法を用いて水素を固溶・拡散させることにより、成膜後かつ室温において薄膜の面内応力の制御を行える手法についての検討をおこなった。

### 【実験方法】

成膜方法として、直流放電型マグネトロンスパッタリング法を用いて成膜を行った。ターゲットとしては室温において水素を固溶する金属である、 $\text{SmFe}_2$  のモザイクターゲット及び Ti ターゲットを用いた。到達真空度として、 $5.0 \times 10^{-4}$  Pa 以下とし、基板バイアスは、0～90 V の範囲で任意の値に変え成膜を行った。スパッタリングガスは Ar ガス（99.999 %）利用し、ターゲットの清浄化のためプレスパッタをおこなった。その後、 $9.4 \times 10^{-2}$  Pa においてスパッタ電力 60 W とし、膜厚 1000 nm で成膜を行った。基板ターゲット間の距離を 80 mm、基板温度は、 $373 \pm 5$  K の値とし、基板には n 型単結晶 Si (100) (5 mm×25 mm×0.28 mm) を用いた。作製した Sm-Fe 薄膜及び Ti 薄膜内に水素添加を行う方法として定電流電解法を用いて水素添加を行った。対極として金ワイヤー（純度 99.95%）、標準参照電極として銀-塩化銀電極を用いて、三電極法による水素付加を行った。定電流電解法を用いて水素付加を行い Step-by-step において白色干渉顕微鏡を用いて曲率半径を計測し、これを Stony の式に適用し面内応力の算出を行った。

### 【結果】

成膜時の基板バイアスを 0 V とした時の、Sm-Fe 薄膜及び Ti 薄膜中に電気化学的水素添加法を用いて水素の添加した際の、水素添加量に対する面内応力の変化について Fig. 1 に示す。水素添加前の膜面内の応力は水平線で表してある。Fig. 1 から、Sm-Fe 薄膜及び Ti 薄膜の面内応力は金属中水素添加量が増加するにつれて圧縮応力側に大きくなっていく事がわかった。また、Ti 薄膜は Sm-Fe 薄膜よりも少ない金属中水素量で大きな圧縮応力が得られた。

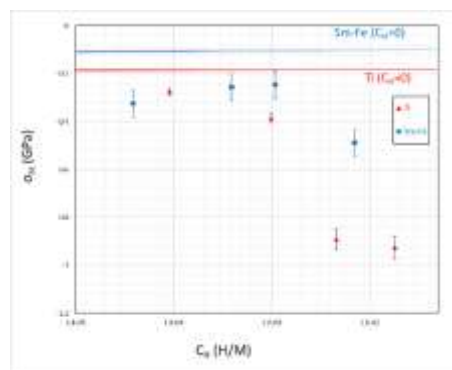


Fig.1 In-plane stress of Sm-Fe thin film and Ti thin film on Si substrate as a function of hydrogen content; CH in Sm-Fe thin films (Ti is ▲, Sm-Fe is ■)

## 水素添加した金属薄膜の面内応力に及ぼす膜厚の影響

\*山口健吾（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、秋山拓紀（東海大学工学部原子力工学科）、神谷征人（東海大学工学部原子力工学科）、金子莉久（東海大学工学部原子力工学科）、石丸大地（東海大学工学部原子力工学科）、内田ヘルムート 貴大（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、\*\*松村義人（東海大学工学部原子力工学科）

### 1. 緒言

真空蒸着において、成膜された薄膜は成膜条件により引張応力から圧縮応力まで様々な内部応力を示す。また、薄膜の内部応力の変化によって機械的、電気的、光学的、磁歪的特性が大きく変化することが知られている。このため、薄膜特性の向上には内部応力の制御が必須である。過去の研究では基板温度、スパッタガス圧、スパッタ電力など成膜中の条件を変え内部応力制御を試みてきた。成膜中に内部応力を制御するためには、成膜時のパラメータが多くなることから、成膜後に、室温で（熱応力の影響を避けるため）制御性よくかつ簡便な内部応力制御法が望まれる。一方、金属薄膜内に水素を固溶・拡散させると、金属薄膜の体積膨張と金属中水素量の関係は比例関係になることが知られていた。その際に、金属薄膜は基板によって膨張が制限を受けることにより内部応力が発生することになる。我々は、この現象を利用して上記の成膜後に室温中における内部応力制御が可能ではないかと考えた。そこで、本研究では成膜後に膜厚の異なる Sm-Fe 薄膜に対して成膜後に水素を添加し、水素添加量が膜の内部応力へ及ぼす影響について検討を行った。

### 2. 実験方法

成膜条件には DC マグネトロンスパッタリング装置を用い、スパッタリングターゲットには Sm-Fe<sub>2</sub> を用い、基板には単結晶 Si(100) を用いた、膜厚は 400 nm～1000 nm での任意の膜厚とした。スパッタリングガスには Ar (99.999%) を用い、Ar ガス圧  $9.4 \times 10^{-1}$  Pa においてスパッタ電力 60 W とし、また、水素添加には 1M-KOH 電解溶液中で定電流電解法を用いた。電流密度は  $10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  一定とし、対極として白金黒電極、標準電極として飽和甘汞電極 (SCE) 電極を使用した三電極法を用いて水素添加を行った。内部応力測定は白色干渉顕微鏡を用いて曲率半径を計測し、これを stoney の式に適用し内部応力の算出を行った。

### 3. 結果

Fig. 1 に水素付加前と水素付加後の各膜厚における内部応力の変化を示す。図内の横棒は、水素導入前の内部応力の値を示す。水素添加によって各膜厚ともに内部応力が圧縮応力側へと変化していることが確認された。厚い膜厚 (1000 nm) では 100 MPa 引張応力が増加し、薄い膜厚 (400 nm) では 600 MPa 引張応力が増加した。さらに多くの水素を添加すると圧縮応力の緩和がみられた。

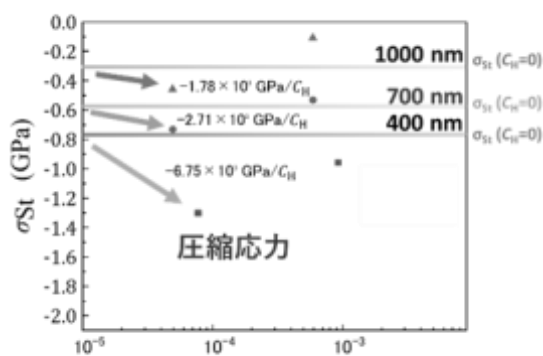


Fig.1 Internal stress of Sm-Fe thin film on Si substrate as a function of hydrogen content; C<sub>H</sub> in Sm-Fe thin films. (■:400 nm, ●:700 nm, ▲:1000 nm)

## Sm-Fe 薄膜の膜厚が内部応力に及ぼす影響

\*山口健吾（東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻）、金子莉久（東海大学工学部原子力工学科）、神谷証人（東海大学工学部原子力工学科）、秋山拓紀（東海大学工学部原子力工学科）、秋元翼（東海大学工学部原子力工学科）

\*\*松村義人（東海大学工学部原子力工学科）

### 【緒言】

磁歪薄膜はマイクロアクチュエータやナノマシンへの応用が期待されており、磁歪薄膜の磁歪特性は内部応力に関係していることが知られている。そこで、高性能な磁歪薄膜デバイスの作製を行う上で内部応力の制御は必要不可欠である。これまでの研究では、成膜条件において薄膜特性が変化することから基板バイアスや基板温度などを変化させることにより、薄膜の内部応力を制御し、磁歪特性の制御を試みてきた。プラズマプロセスによって作製した薄膜の内部応力は、成膜条件の変化の影響を大きく受けることから、膜厚も成膜条件のパラメータの1つであるため、膜の厚さに違いが生じた場合も内部応力への影響があると考えられる。そこで、マグネトロンスパッタリング法では、ターゲットと基板の距離が近い場合、平行磁界ができる部分と平行磁界ができない部分の直上では蒸着される膜の厚さが異なる可能性がある。そこで、本研究では、マグネトロンスパッタリング法における基板位置が、膜厚と内部応力に及ぼす影響について検討を行った。

### 【実験方法】

本研究では、プレーナー型直流マグネトロンスパッタリング法を用いて成膜を行った。スパッタリングターゲットには Sm-Fe<sub>2</sub> を使い、基板は厚み 0.28mm の単結晶 Si 基板(100)を用いて蒸着を行った。スパッタガスは純度 99.999% の Ar ガスを用い、真空度は  $9.4 \times 10^{-2}$  Pa とし、スパッタ電力は 60W で成膜を行った。薄膜の膜厚測定には表面粗さ計 (Sloam Dectak III) 及び、白色干渉顕微鏡 (Nikon BW-S502) を用いて測定し、内部応力は白色干渉顕微鏡 (Nikon BW-S502) と光こて法を用いて測定を行った。

### 【結果】

Fig.1 に各膜厚における内部応力を示した。膜厚が厚くなるにつれ圧縮応力が緩和していることがわかる。エロージョン領域に集中的にスパッタリングが起これ、ターゲットにリング状の損耗が観察された。エロージョン領域から一番離れた所の膜厚は 650nm、エロージョン領域の直上では 1120nm となり、エロージョン領域の直上に近づくにつれ、膜厚が厚くなり 470nm 程の差が生じることがわかった。

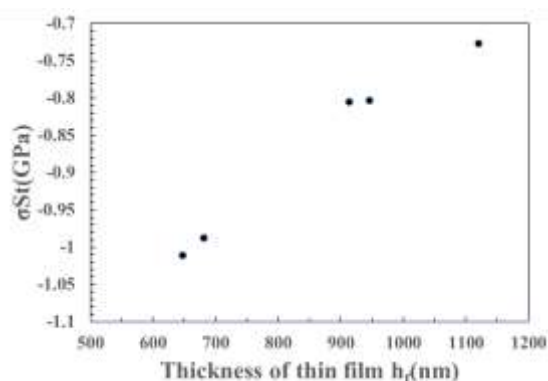


Fig.1 Internal stress of Sm-Fe thin film on Si substrate vs Thickness of

## 炭素繊維織布の電子線照射による物性変化に関する研究

\*三浦 栄一(東海大学工学部精密工学科)、竹田 圭佑(東海大学大学院工学研究科)、木村 英樹(東海大学大学院工学研究科)、利根川 昭(東海大学大学院理学研究科)、西 義武(東海大学大学院工学研究科)、\*\*内田 ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科)

### 1. 緒言

炭素繊維(CF)は軽量で高強度なことから炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の強化材として用いられており、自動車や航空機などの材料をはじめ、様々な箇所で幅広く使用されている[1]。CFRPの母材に一般的に使用される熱硬化性のエポキシ樹脂は界面接着強度が優れており、信頼性が高いとされている。しかし、エポキシ樹脂は成形後の硬化に長時間を要するため、生産時の効率的な観点が課題とされている。さらに、リサイクルが困難であるとされていてマイクロプラスチックが環境に及ぼす影響が非常に問題視されている昨今、代替材料の探索も含めて対策が一用となりつつある[2]。そのため生産コストが高く、今後はリサイクル対策のコスト増も想定されているため大量生産には向いていないとされている。一方で熱可塑性樹脂を母材とした炭素繊維熱可塑性樹脂(CFRTP)は成形後の硬化時間が短く、リサイクルが可能であることから低コストでの量産化が見込まれる。しかし、母材となる熱可塑性樹脂は繊維の濡れ性が悪いと、界面接着強度が低く、繊維の引き抜けが起りやすい。そのため、複合材料としての強度が十分に発現することが出来ない。

電子線(EB)の照射を高分子化合物に行うことで分子結合を開裂させ高分子の構造が変化することが知られている。高エネルギーのEBの照射では、高分子の結合自体を破壊してしまうため材料を劣化させる要因となる事が広く知られているが、低エネルギー条件かつ少ない線量の電子線照射[3]は裁量表面原子における未結合手(ダングリングボンド)を形成し、表面エネルギーを向上させる効果により無機透明材料のぬれ性向上や防曇効果などに有効であることが報告されている。また、先行研究では母材に熱可塑性樹脂であるポリプロピレン(PP)を用いたCFRTPに低エネルギー電子線均質照射(HLEBI)の処理を施すと、母材との界面接着性が改善され、HLEBI照射未処理のCFRTPと比較して引張試験、曲げ試験、シャルピー衝撃値の向上することが確認されている。

本研究ではHLEBI照射前後のCFの比較をし、EB照射によるCFの物性変化の観察を目的としている。その前提として、CF表面にはサイジング膜と呼ばれるエポキシ樹脂による表面処理が施されており、我々はこのサイジング膜に着目した。サイジング膜によるCFの機械的性質の向上が確認されているがその知見は十分ではない。そこで、今回我々はEB照射時におけるサイジング膜の有無によるCFへの影響を検討した。

### 2. 実験方法

本研究ではCFのサイジング膜の除去処理として、CFをアセトンに30分間の浸漬を2回室温に置いて行った。EB照射処理には電子線照射装置(Type CB250/30/20mA, Energy, Science Inc, Woburn, MA, USA, Iwasaki Electric Group Co. Ltd. Tokyo, Japan)を用いて、サイジング膜除去処理後のCFとサイジング膜未処理のCFにHLEBI照射処理を施す。それらの試料を実体顕微鏡(SMZ25)と白色干渉顕微鏡(BW-S507)で観察した。

### 3. 実験結果

HLEBI照射処理前後の炭素繊維織布の光学実体顕微鏡による比較を図1および図2に示す。照射直前および直後において、試料表面温度の変化は1℃以内、かつ場所による変化も1℃以内であった事がIRカメラ計測の測定結果より得られている。従って、この影響は温度変化による高分子の状態変化に起因するものではなく、HLEBI照射処理に起因する変化であると結論付けられる。

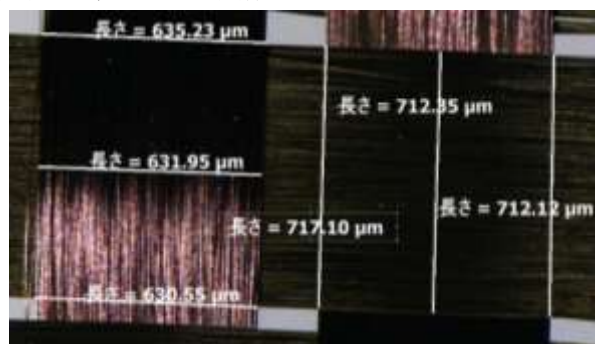


図1 HLEBI照射前のCF(倍率30倍)

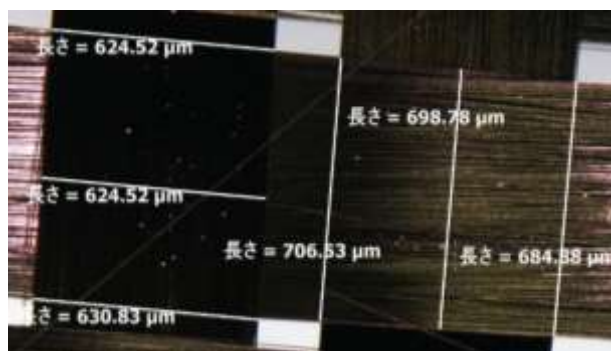


図2 HLEBI照射後のCF(倍率30倍)

[1] 平松 徹, 『よくわかる炭素繊維コンポジット入門』, (2015), 日刊工業新聞社.

[2] S. Agarwal and A. Sethiya, "Plastic Pollution: A Threat to Society", (2019), Scholars' Press.

[3] 鷲尾 方一, 佐々木 隆, 木下 忍, 『低エネルギー電子線照射の技術と応用 (CMCテクニカルライブラリー)』, (2006), シーエムシー出版.



## 振動発電素子向け磁歪薄膜材料の界面密着性に関する研究

\*大野 聖海(東海大学工学部精密工学科)、常盤 蓮(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、井上 将利(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、山口 健吾(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、松村 義人(東海大学工学部原子力工学科)、\*\*内田 ヘルムート貴大(東海大学工学部精密工学科)

## 【緒言】

日本では近年、高度経済成長期に整備された社会インフラ構造物、特にトンネルや橋が崩落するという事象が発生している[1]。定期的な検査により欠陥等を人が直接見たり叩いたりして検知するのが望ましいが、人手不足が続いている状況にある。そこでセンサーを取り付け、構造物内で発生した欠陥等の異常を超音波などにより感知し、データを送る IoT の活用が考えられるが、各センサーや無線 LAN 設備が動作するにはエネルギー源が必要となる。エネルギー源として電池を使用した場合には定期的な電池交換のために人に頼らざるを得ない事、そしてその数が膨大となるため現実的ではない事、更に電池の腐食による環境への影響までもが懸念される事態となりかねない。このような状況の中、ワイヤレス LAN を飛ばすための電源として磁歪薄膜の振動発電が注目されている[2]。トンネルの中に流れる風や橋を通る車等の振動を利用して、コイルの中で共振周波数になるように設置した磁歪材を用いれば発電することができる。その上、薄膜化する事で小型化も可能であると考えられる。しかし、薄膜化した場合には耐久性が求められ、特に膜と基板との密着性が重要となる。従来の密着性評価手法にはスクラッチ試験法やテープ試験法などが存在するが、これらは膜内に存在する歪みのエネルギー成分までは考慮されていない。薄膜内部の面内応力の影響は、テラヘルツ領域の次世代情報通信までを視野に入れた場合、信号のエネルギー損失にかかわる要因であると考えられ、薄膜と基板間の密着のエネルギーを膜内の応力状態まで加味した本質的な議論が求められている。このような中、当研究グループでは電気化学的に厳密に制御した水素量の薄膜内への導入が膜の内部応力の制御に有効であることを磁歪薄膜においても確認しており、今回は基板からの剥離が生じる限界の応力が膜厚に依存するとされる Nikitin のモデル[3]に磁歪薄膜が適合するかという点を確認した。その上で、基板表面の状態の違いが密着のエネルギーに及ぼす影響について調査を行った。

## 【実験方法】

DC マグネトロンスパッタリング法を用いて、フッ酸による洗浄処理を行ったものを行わなかったもの、それぞれの Si(100)の基板上に Sm-Fe 薄膜を成膜した。スパッタガスとして Ar ガスを用い、成膜中の Ar ガス圧を  $1.0 \times 10^{-1}$  Pa とした。基板温度は 373 K とし、膜厚は 20 nm ~ 2000 nm の範囲で作製した。作製した試料に対し、85 wt.%リン酸と 85 wt.% グリセリンを体積比 1:2 で混合した溶液を用いて、定電流パルス負荷を用いて電気化学的な水素導入処理を行った。水素濃度の算出には Faraday の式[4]を用いた。各平衡水素濃度における曲率半径を、白色干渉顕微鏡を用いて計測し、この値を Stoney の式[5]に適用し、Sm-Fe 膜の内部応力の算出を

行った。剥離の限界応力( $\sigma_{cr}$ )を各試料の膜厚の関数としてプロットし、Nikitin モデル[3]を適用し、基板洗浄処理の有無による界面密着エネルギーの評価を行った。

## 【実験結果および考察】

同じ厚みの Sm-Fe を比較すると、基板洗浄した試料は基板洗浄していない試料に比べて、小さい応力で剥離が生じた。Fig.1 に Si(100)基板の洗浄有無による膜内の応力と膜厚の関係を示す。基板洗浄の有無で傾き、すな

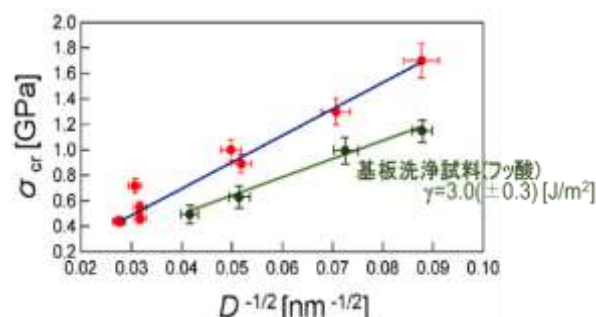


Fig.1 各膜厚  $D$ [m]を有する Sm-Fe 磁歪薄膜試料に対する剥離限界応力( $\sigma_{cr}$ )の値。基板洗浄処理の有無により傾きが異なり、薄膜の界面密着エネルギーが異なることを示唆している。

わち密着エネルギーが異なる。密着エネルギーは洗浄基板で  $3.0(\pm 0.3)$  J/m<sup>2</sup>、未洗浄基板で  $4.6(\pm 0.6)$  J/m<sup>2</sup> と求められた。このように界面密着エネルギーに差が生じたことは、界面に酸化物、具体的には Sm 酸化物または Sm を含む複合酸化物が形成されていると考えられ、これを確認する実験を進行中である。また、得られた界面密着エネルギー値のスケールとしては、Nikitin らが報告した Pd/PC のエネルギー ( $0.1$  J/m<sup>2</sup> –  $0.2$  J/m<sup>2</sup>) [3] より 1 桁大きく、Jaccodine らにより報告された PC/Cr 酸化物界面における値 [6] よりも 1 桁高いものであるため、妥当性があると判断される。従って、電気化学的な水素処理により、剥離現象を用いた界面密着エネルギーの算出は磁歪材料に対しても有効な手法であることが確認された。

## 【参考文献】

- [1] 国土交通省、『国土交通白書』、(2014)、第1章第3節。
- [2] 日本経済新聞記事『「ボタン電池の置き換え」狙う小型振動発電機を金沢大が開発』、2010年12月1日付、[https://www.nikkei.com/article/DGXNASFK0101E\\_R01C10A2000000/](https://www.nikkei.com/article/DGXNASFK0101E_R01C10A2000000/) (2019年10月18日参照)
- [3] E. Nikitin et al., *J. Alloy. Comp.* **404-406**, 477 - 480.
- [4] R. Kirchheim, *Prog. Mater. Sci.*, **32**, (1988), 261-325.
- [5] G.G. Stoney, *Proc. Roy. Soc. London*, **82**, (1909), 172-175.
- [6] R.J. Jaccodine, *J. Electrochem. Soc.*, **110**(6), (1963), 524-527.

## Sm-Fe 薄膜及びその酸化防止コーティング膜に対する水素処理の影響と基板からの応力に関する研究

\*常盤 蓮(東海大学工学研究科機械工学専攻)、尾高 弘紀(東海大学工学研究科機械工学専攻)、山口 健吾(東海大学応用理化学専攻)、松村 義人(東海大学原子力工学科)、\*\*内田 ヘルムート貴大(東海大学精密工学科)

### 1. 研究の目的

柔らかく変形しやすい高分子を基板とした薄膜磁歪素子は、大きな変位量のみならず軽量化された移動体向けエネルギー変換素子として注目される。来るべき水素社会に向け、水素が存在する環境下における磁性材料の挙動や安定性の解明は学術的のみならず工業的な観点からも極めて重要である。本研究ではスパッタリング法により作製した負磁歪薄膜材料である Sm-Fe 系薄膜、および酸化防止膜の候補となりうるコーティング膜の水素化特性及びその基板からの応力による影響を調査した。

金属薄膜を作製後に室温の範囲内にて内部応力を制御する手法の一つとして、水素原子を薄膜内に拡散・固溶させ吸蔵させる手法が知られている。一定温度条件下において、一般に、水素原子が固溶した金属はその吸蔵量に応じて体積が膨張する。水素原子は、試料への固溶後、試料が結晶性を有する場合は金属結晶格子間の四面体サイトおよび八面体サイトを、アモルファス材料においても金属原子間を拡散し移動する。低水素濃度領域においては金属試料内の空孔や転位、結晶粒界などの欠陥にトラップされる。これらは大まかに Sieverts 則に従う事が知られている。この体積膨張は試料が吸蔵した水素量に比例するが、基板からの拘束のため、水素量に応じた面内圧縮応力が生じる。これらの圧力は地球の中心レベルに相当するものである。そのため、熱力学的な挙動では考慮する必要がない応力の寄与の薄膜材料と水素の系では影響する。本研究では磁歪薄膜である Sm-Fe 層と Pd 膜の層が積層した複合膜における水素および膜内の応力の影響を調査する。次に、表面被覆された Pd コーティング膜に及ぼす水素の挙動を調査する。最後に、これらの結果に対する、基板からの応力の寄与を調査することを目的とする。

### 2. 実験方法

直流放電マグネトロンスパッタリング法を用いて厚み 0.28 mm の単結晶 Si(100)基板上に膜厚 20 nm-60 nm の範囲で Pd 膜を成膜した。また、厚み 0.125 mm のポリイミド基板上に膜厚 100 nm-150 nm の範囲で Pd を成膜した。さらに、基板温度 343 K の条件で ポリイミド基板上に膜厚 100 nm-400 nm の範囲で Sm-Fe 薄膜を作製し、85 wt.%H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 水溶液と 85 wt.%グリセリンを体積比 1:2 の混合溶液を用いて、電気化学的な水素処理を行った。水素処理は定電位電源を用いて段階的にパルス電流を流し、各段階における電気ポテンシャルを Ag/AgCl(sat.)標準参照電極を測定及び、試料の内部応力の評価した。

### 3. 結果と考察

Fig.1 は Pd で表面被覆した Si 基板上 Sm-Fe 薄膜試料とポリイミド基板上 Pd 薄膜のみの試料に対する EMF プロットの比較である。Pd を被覆した Sm-Fe 薄膜試料では低水素濃度領域において極めて小さい値が実測された。さらに Pd-PdH<sub>6</sub> に対応するポテンシャルが実測された。このプラトーポテンシャルは導入された水素濃度に対して傾斜が生じていることが確認された。低水素濃度領域において Sm-Fe 層の中の Sm が優先的に水素化され、Sm 水素化合物が形成される結果ブロッキング現象が生じ、それ以降の導入分の水素は Pd 層内で水素化合物を形成していることが示唆される。またポリイミド基板を用いた試料には大きな引張応力がかかっており、Si 基板上の薄膜材料に比べ欠陥や転位が多く存在しているため水素が導入する際の電気化学ポテンシャルが低下した可能性も示唆される。熱力学的に平衡ポテンシャルは Gibbs の相律によればこれらの系は一定に定まり平坦と知られているが、水素が導入されたことにより試料中の面内圧縮応力の増加が連続的に生じていることが確認された。したがって、薄膜材料においては水素導入に付随する導入される内部応力は無視できず、実用化にあってこれらを考慮した設計指針を行う必要がある。

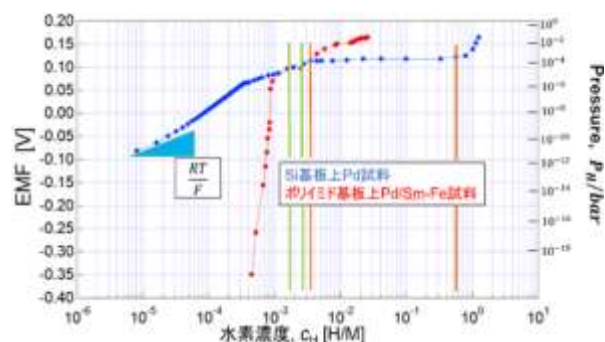


Fig.1 Si 基板上 Pd 薄膜試料(青)及びポリイミド基板上 Pd/Sm-Fe 薄膜試料(赤)の水素導入時の各水素濃度における電気ポテンシャルの値(左軸)と水素のガス圧(右軸)



**Cu-Al-O 透明半導体薄膜の作製**

**\*下田大空(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)**

概要原稿なし

ガスクロミック反応を用いた Wox 水素センサの作製

\*那須琴美(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)

概要原稿なし

蒸着重合による  $g - C_3N_4$  薄膜の作製と評価

\*小池まりな(東海大学教養学部人間環境学科)、\*\*小栗和也(東海大学教養学部人間環境学科)

取り下げ

## ギターの音色の電氣的分析

\*服部 夏(神奈川県立横浜国立大学電気電子情報工学科)、\*田中 萩乃(神奈川県立横浜国立大学電気電子情報工学科)、

\*\*板子 一隆(神奈川県立横浜国立大学電気電子情報工学科)

### 1. まえがき

ギターに関する研究はピアノやバイオリンと比べて少ない。そのため現在においても研究する余地が十分に残されている。ギターを演奏した経験がある人は、高級手工ギターの音色と量産型ギターの音色の違いが明確にわかるものである。このことから、FFT(Fast Fourier Transform)解析による音色の分析を行い、電氣的に良いギターとそうでないものの音色の違いを明らかにすることを目指す。

そこで、本研究では平均律を用いてギターの弦に含まれる音の種類を分類することから検討をはじめ、FFT 解析を行い音色のスペクトル(倍音)を検出し、倍音解析を行い、オクターブ音の含有率と豊かな音(厚みのある音)の関係を検討したので以下に報告する。

### 2. 実験用ギターと測定方法

実験に使用したギターを表 1 に示す。量産型ギターとして中国製のバレンシア、高級手工ギターとしてスペイン製のラミレスを使用した。

実験では、FFT による各弦に含まれる周波数スペクトルの測定を行った。測定条件として、マイクとギターのサウンドホールとの距離を 5 cm、弦を弾く位置をサウンドホール上に設定した。

演奏方法については、実験結果にばらつきが生じないようにピックを使用した。なお、測定範囲は 0~20kHz とした。

ギターの各弦には様々な音が含まれており、含まれる音は基音、協和音程と不協和音程に分けられる。今回は特に基音となる周波数の 2<sup>n</sup> 倍の音をオクターブ音と言い、本実験では 2、4、8 倍音の含有率に注目した。

### 3. 実験結果

実験で得たデータから以下に定義する評価係数(オクターブ係数)を求めた。

$$O.F. = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_4^2 + V_8^2}}{V_1} \times 100\% \quad V_n : \text{倍音の大きさ [V]} \quad (n \text{ は自然数})$$

この値は厚みのある豊かな音の指標となる。すべての弦の音色を分析してから、2つのギターの音色の違いを比較、検討する。各ギターのオクターブ係数を比較したものを図 1 に示す。同図より、2~4 弦ではバレンシアに比べるとラミレスはオクターブ係数が大きくなった。しかし、1 弦と 6 弦におけるオクターブ係数の比較では 2 種類のギター間に大きな差は見られなかった。そこで、協和音程と不協和音程の周波数スペクトルの比較を行った。バレンシアの 1 弦は不協和音程成分を多く含んでおり、6 弦はオクターブ音以外の協和音程成分がラミレスと比較すると極端に少ないことが分かった。

### 4. あとがき

以上より、量産型ギターにはオクターブ音が少なく、伝統的な高級手工ギターにはオクターブ音が多くなり豊かな音であることが確認できた。また、豊かな音になるためには協和音程、不協和音程が大きく影響することも確認できた。今後は協和音程、不協和音程も考慮に入れた検討を行う予定である。

表 1 ギターのスペック

|         | バレンシア         | ラミレス            |
|---------|---------------|-----------------|
| メーカー    | VALENCIA      | JOSE RAMIREZ II |
| 弦長      | 650mm         | 665mm           |
| 弦       | AUGUSTINE RED | AUGUSTINE RED   |
| トップ     | シトカスプルース      | スプルース           |
| バック&サイド | ナトー           | CS& ローズウッド      |

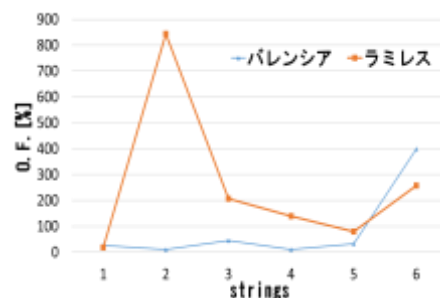


図 1 オクターブ係数の比較

## 熱音響発電システムのループ管長の変化による発電動作への影響

\*安西龍一(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*金子哲也(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. 研究背景・目的

現在産業における排熱の約3分の2が回収されず、廃熱として捨てられている。こうした廃熱を回収する技術の一つとして、熱音響発電が注目されている。しかし現在、熱音響発電システムは開発途上にあり課題も多く、効率的な運用法は確立されていない。本研究では熱音響発電システムで使われる熱音響発電機の効率的な制御を目指しており、今回の発表においては熱音響機関の一要素であるループ管について、管長に対する発電動作への影響を調査した。

### 2. 実験方法

今回の実験で使用した熱音響発電システムは、図1に示す通りである。熱音響エンジンに温度差を与えるため、熱音響エンジン高温側にはシースヒーター(坂口電熱(株)、M-1-300)に300 Wの電力を印加し、低温側にはチラー(オリオン機械(株)、RKS-750-D)によって冷却水を循環させた。また熱音響機関の構成としてはループ管並びに共鳴管を内径40 mm  $\Phi$ の塩ビパイプで構成し、共鳴管の枝分かれ位置は熱音響エンジンを基準としたループの中心とした。以上の状態で、ループ管の長さ $L_L$ を1160 mm、3610 mm、6410 mmとした3通りについて実験を行った。また、熱音響エンジンが自励発振によって音波を発するか否か、またその発振状態等はループ管の長さ $L_L$ に対する共鳴管の長さ $L_R$ や共鳴管端の状態に依存するため、 $L_R$ を50 mm ずつ変化させ、発電動作を調査した。

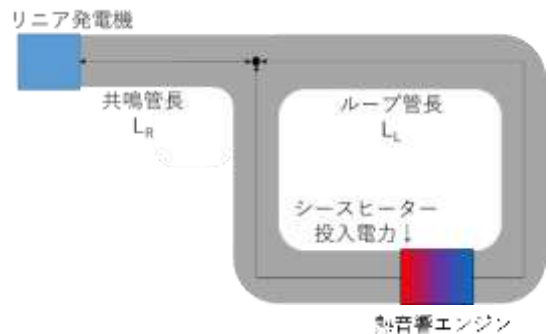


図1. 熱音響発電システムの構成模式図

### 3. 結果と考察

図2は、共鳴管の長さに対するリニア発電機の出力開放電圧の変化を示した図である。なお、ループ管長 $L_L=1160$  mmでは自励発振が生じなかったため、図中に示されていない。図より、自励発振の発生は $L_R$ に対して連続ではなく、自励発振をしない共鳴管長がある事を確認できる。また、共鳴管の長さによって出力する電圧が異なり、データが連続する範囲の中心近くに電圧のピークが存在する傾向にあると分かる。この結果より、リニア発電機が高効率で運転できる熱音響発電システムを構築する要件として、ループ管長に合わせた共鳴管長を選定する事が必要であると言える。

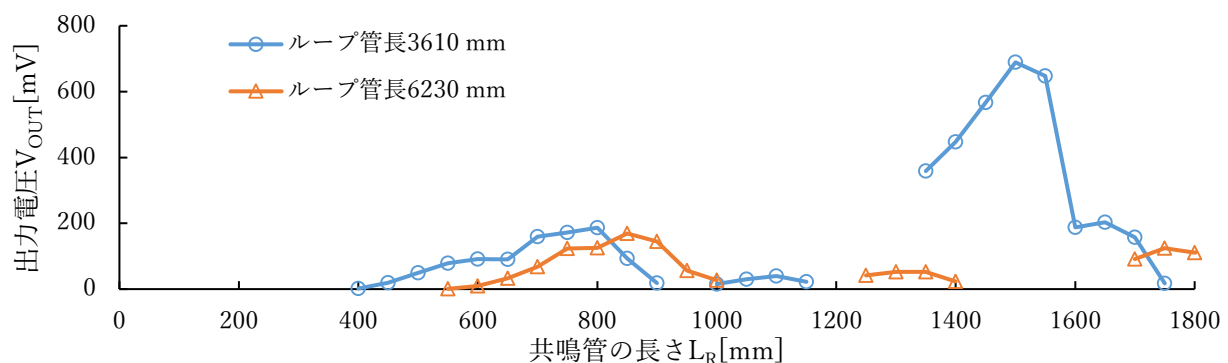


図2. 共鳴管の長さに対する出力電圧

謝辞 本研究は、東海大学総合研究機構「プロジェクト研究」の援助を受けて行ったものである。

## 広帯域誘電分光法による氷結状態のウシ血清アルブミン水溶液の分子運動

\*塚原達也（東海大学理学部物理学科）、小田切李沙（東海大学理学部物理学科）、藤井慎季（東海大学大学院理学研究科物理学専攻）、高塚将伸（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、佐々木海渡（国立研究開発法人物質材料研究機構）、喜多理王（東海大学理学部物理学科）、\*\*新屋敷直木（東海大学理学部物理学科）、八木原晋（東海大学理学部物理学科）

### 〔背景・目的〕

近年誘電分光法を用いた様々な生体高分子を溶質とした水溶液中の分子運動が研究されてきた。過去の氷結状態の 10 wt. % 以上のウシ血清アルブミン (BSA) 水溶液の研究からは溶質、不凍水、氷に起因する緩和が観測された<sup>(1)</sup>。また 1 ~ 4 wt. % ゼラチン水溶液の研究からは 4 つの氷の緩和が観測された<sup>(2)</sup>。さらに氷結した水溶液の研究で未発表のものも含め氷に起因する緩和が複数観測されている。このことから BSA で不凍水と解釈した緩和も氷の緩和の可能性も考えられる。そこで本研究では生体高分子の中でも球状タンパクである BSA を溶質とする水溶液を用いて誘電緩和測定を行い、氷の緩和が複数存在しているのかどうかを明らかにすることを目的とする。

### 〔実験〕

溶質に Sigma Aldrich 社製の BSA、溶媒に純水（比抵抗 18.2 MΩ・cm）を用いて 5 及び 10 wt. % BSA 水溶液の調製を行った。誘電分光測定として Novocontrol 社製の Alpha Analyzer を用いて、10 mHz から 10 MHz の周波数帯域、298 K から 123 K の温度範囲で 5 及び 10 wt. % BSA 水溶液、また純水の誘電緩和測定を行った。

### 〔結果・考察〕

Fig. 1 に 298 K ~ 123 K の降温過程における 10 wt. % BSA 水溶液の複素誘電率の周波数依存性を示す。263 K から 258 K の間で誘電率が大きく低下していることから、溶液が氷結したことが考えられる。また 258 K で 2 kHz 付近に I 緩和、253 K で 100 Hz 付近に II 緩和が観測された。どちらも温度低下に伴い低周波側へシフトした。過去の研究より I 緩和は氷、II 緩和は熱測定で観測された水和 BSA のガラス転移温度で緩和時間が 100 s となることから水和 BSA のガラス転移に関係する緩和と推測した。また氷に起因すると推測した I 緩和では低温側において緩和が複数に分離したことを確認した。発表では氷の緩和の分離について詳しく議論していく。

### 〔参考文献〕

- (1) N. Shinyashiki, W. Yamamoto, A. Yokoyama, T. Yoshinari, S. Yagihara, R. Kita, K. L. Ngai, and S. Capaccioni, *J. Phys. Chem. B*, **113**, 14448-14456 (2009).
- (2) T. Yasuda, K. Sasaki, R. Kita, N. Shinyashiki, and S. Yagihara, *J. Phys. Chem. B*, **121**, 2896-2901 (2017).

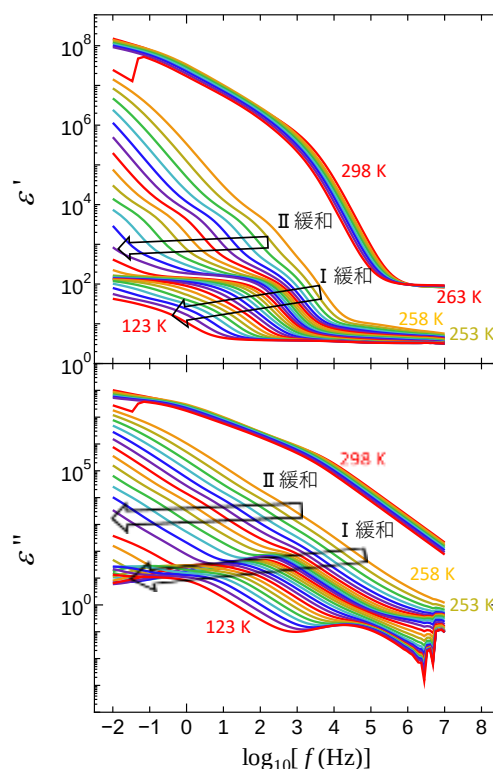


Fig. 1. 298 K ~ 123 K (5 K 刻み) の降温過程における 10 wt. % BSA 水溶液の複素誘電率の周波数依存性。



## 誘電分光法による氷結したリゾチーム水溶液の分子ダイナミクス

\*小田切 李沙（東海大学理学部物理学科）、塚原 達也（東海大学理学部物理学科）、藤井 慎季（東海大学大学院理学研究科物理学専攻）、高塚 将伸（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、佐々木 海渡（国立研究開発法人物質材料研究機構）、喜多 理王（東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター、東海大学理学部物理学科）  
 \*\*新屋敷 直木（東海大学理学部物理学科）、八木原 晋（東海大学理学部物理学科）

これまで、誘電分光法を用いて生体高分子のウシ血清アルブミン (BSA)、リゾチーム、ゼラチンの水溶液の氷結状態に関する分子ダイナミクスの研究が行われ、それぞれの水溶液において溶質、不凍水、氷に起因する緩和が観測された<sup>1, 2, 3, 4)</sup>。さらに、1~4 wt. %ゼラチン水溶液において氷の緩和が複数観測された<sup>5)</sup>。また、Poly(vinyl pyrrolidone) (PVP) や Poly(ethyleneimine) (PEI)、Poly(vinyl methyl ether) (PVME) といった合成高分子を溶質とした水溶液の氷結状態に関する研究においても、氷に起因する複数の緩和が存在すると考えられている。そこで、生体高分子で球状タンパクであるリゾチームの水溶液においても、氷の緩和が複数観測されるのかということなど、リゾチーム水溶液の緩和の特徴を明らかにすることが本研究の目的である。そのために、氷結したリゾチーム水溶液の誘電緩和測定を様々な条件の下で行い、リゾチームの分子構造、分子の集合状態、濃度、および温度履歴がどのように誘電緩和に関係するのかを明確にしていく。

今回の実験では、溶質に Sigma-Aldrich 社製のリゾチーム、溶媒に Simplicity UV で精製した 18.2 M $\Omega$ ・cm の純水を用いて 10 wt. %リゾチーム水溶液の調製を行った。測定装置として Novocontrol 社製の Alpha Analyzer を用い、周波数域 10 mHz~10 MHz、温度範囲は 298 K~123 K (5 K 刻み) で 10 wt. %リゾチーム水溶液の複素誘電率測定を行った。

Figure. 1 に 298 K~123 K の降温過程における 10 wt. %リゾチーム水溶液の複素誘電率の周波数依存性を示す。298 K において、100 kHz 付近にリゾチームに関係すると考えられる緩和が観測された。さらに、263 K 以上の誘電率と比べ、258 K 以下の誘電率が急激に低下したことから、263 K~258 K において溶液が氷結したと考えられる。また、258 K において緩和が 2 つ観測され、100 kHz 付近において観測された緩和を I 緩和、100 Hz 付近において観測された緩和を II 緩和とする。I 緩和と II 緩和はともに、温度低下に伴い低周波側にシフトした。過去の研究との比較から、I 緩和は氷の分子運動に起因する緩和、II 緩和はリゾチームの分子運動に関係する緩和だと考えられる。また、I 緩和は 178 K 付近において緩和が複数に分離したことが確認された。今回の発表では、氷の分離について詳しく議論していく。

## [参考文献]

- 1) K. Sasaki, R. Kita, N. Shinyashiki, and S. Yagihara, *J. Chem. Phys.* **140**, 124506 (2014).
- 2) K. Sasaki, R. Kita, N. Shinyashiki, and S. Yagihara, *J. Phys. Chem. B*, **120**, 3950–3953 (2016).
- 3) A. Panagopoulou, A. Kyritsis, A. Aravantinou, D. Nanopoulos, R. Serra, J. Ribelles, N. Shinyashiki, and P. Pissis, *Food Biophysics*, **6**, 199–209 (2011).
- 4) N. Shinyashiki, W. Yamamoto, A. Yokoyama, T. Yoshinari, S. Yagihara, R. Kita, K. L. Ngai, and S. Capacciloi, *J. Phys. Chem. B*, **113**, 14448–14456 (2009).
- 5) T. Yasuda, K. Sasaki, R. Kita, N. Shinyashiki, and S. Yagihara, *J. Phys. Chem. B*, **121**, 2896–2901 (2017).

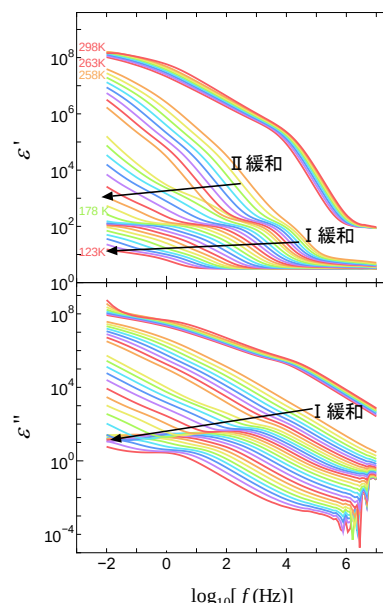


Figure. 1. 298 K~123 K (5 K 刻み) の降温過程における 10 wt. %リゾチーム水溶液の複素誘電率の周波数依存性。

## Poly(vinyl pyrrolidone)-propylene glycol 溶液の高分子とアルコールの誘電緩和

\*藤井慎季(東海大学大学院理学研究科物理学専攻)、萬代健太(東海大学大学院理学研究科物理学専攻)、高塚将伸(東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻)、佐々木海渡(国立研究開発法人物質・材料研究機構)、喜多理王(東海大学理学部物理学科、東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター)、\*\*新屋敷直木(東海大学理学部物理学科)、八木原晋(東海大学理学部物理学科)

これまで、広帯域誘電分光法により Poly(vinyl pyrrolidone) (PVP) を溶質とした水溶液およびアルコール溶液の液体からガラス状態における溶質と溶媒の分子運動に関する研究が行われてきた。氷結しない PVP 水溶液では、PVP に由来する緩和と、液体からガラス状態まで水の主緩和が一つ観測される。更に、近年 PVP の緩和と水の主緩和の間に小さな水に起因する緩和が観測された<sup>(1)</sup>。水の緩和の緩和時間は、PVP の緩和の緩和時間が 100 秒になる温度(ガラス転移温度、 $T_{g,PVP}$ )以上の温度域では温度低下とともに急激に増加するが、 $T_{g,PVP}$  以下の温度では温度低下と共に温度の逆数に対して直線的に増加する<sup>(2)</sup>。これを non-Arrhenius-Arrhenius 転移(non-A-A 転移)と呼ぶ。このような水の緩和の特徴が他の溶媒でも見られるかどうかを明らかにするため、PVP アルコール溶液の誘電率測定を行った。図 1 に、65 wt. % PVP-propylene glycol (PG) 溶液における緩和時間の温度依存性を示す。65 wt. % PVP-PG 溶液では、主に 3 つの誘電緩和が観測された。高温側では PVP 由来の緩和が 1 つと PG 由来の緩和が 1 つ観測され、 $T_{g,PVP}$  以下で PG 由来の緩和が 2 つ観測された。同様に、同濃度の PVP-Ethylene Glycol 溶液および PVP-Propanol 溶液でも  $T_{g,PVP}$  以下でアルコールの緩和が複数観測された<sup>(3)</sup>。このように PVP アルコール溶液では、PVP 水溶液と比較すると溶媒の緩和の特徴が異なり低温で溶媒の緩和が複数観測されたが、このメカニズムは未解明である。そこで、本研究では PVP 濃度 65 wt. % 以下の PVP-PG 溶液の緩和を調べ、PG 由来の緩和がどのように分離するか解明することを目的とした。

実験には Novocontrol 社製の Alpha Analyzer を用いて、10 mHz から 10 MHz の周波数域、298-123 K の温度域における 50, 55, 60, 62.5, 65 wt. % PVP-PG 溶液の複素誘電率を測定し、得られたデータより誘電緩和の解析を行った。全ての濃度において、PVP に起因する緩和が 1 つ、PG に起因する緩和は複数観測されたが、ある濃度を境にその緩和の特徴が異なった。発表では、それぞれの濃度における PG に起因する緩和の特徴について説明する。

## [参考文献]

- (1) I. Combarro Palacios, C. Olsson, C. S. Kamma-lorger, J. Swenson and S. Cervený, *J. Chem. Phys.* **150**, 124902 (2019). (2) K. Sasaki, Y. Matsui, M. Miyara, R. Kita, N. Shinyashiki and S. Yagihara, *J. Phys. Chem. B* **120**, 6886 (2016). (3) 萬代健太、平成 28 年度東海大学修士論文 (2016)。

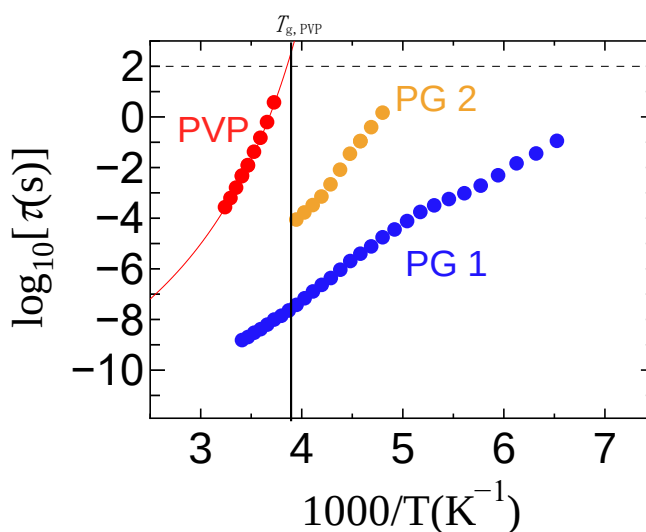


図 1. 65 wt. % PVP-PG 溶液の緩和時間の温度依存性。赤色のプロットは PVP を、黄色と青色のプロットは PG の緩和を示す。縦の実線は、 $\tau=100$  s (横の点線) の  $T_{g,PVP}$  を示す。

## PID 制御を適用した倒立振子の作製

小林蒼生(東海大学 工学部 電気電子工学科) 石丸将愛(東海大学 工学部 電気電子工学科)

### 【はじめに】

近年、災害時や原発事故など様々な場合を想定したロボットの設計・開発が盛んに行われている。実際に原発内や被災地で実際に用いられたロボットは存在するが、従来の車輪型などのロボットでは原発の建物内や足場が悪い場所では進入できる場所が限定され、人間の業務を代わりにこなす事に適していない。それらの環境に対応するには、二足歩行が可能なロボットの方が適している。歩行型のロボットを開発するためには、倒立振子のような重心が支点よりも高い位置にある不安定な状態の躯体を制御する必要がある。

本研究では PID 制御を適用した二輪の倒立振子ロボットを作製した。

### 【詳細】

倒立振子を作製するために使用した主要部品は、Arduino、TOSHIBA 製のモータードライバ IC(TA7291P)、村田製作所製の圧電振動ジャイロモジュールの 3 つである。圧電振動ジャイロモジュールはジャイロ (ENC-03RC) を 2 つ搭載しており、前後左右の角速度を検出できる。ジャイロモジュールの角速度の値はアナログ値で検出されるので、Arduino の A-D コンバータでデジタル値に変換する。検出した角速度を Arduino が積算し、車体の角度を求める。モータードライバ IC(TA7291P)は、内部は H ブリッジ回路が用いられている。HIGH と LOW の組み合わせでモーターの正転・逆転ができる。二輪倒立振子ロボットの動作モデルを図 1 に示す。

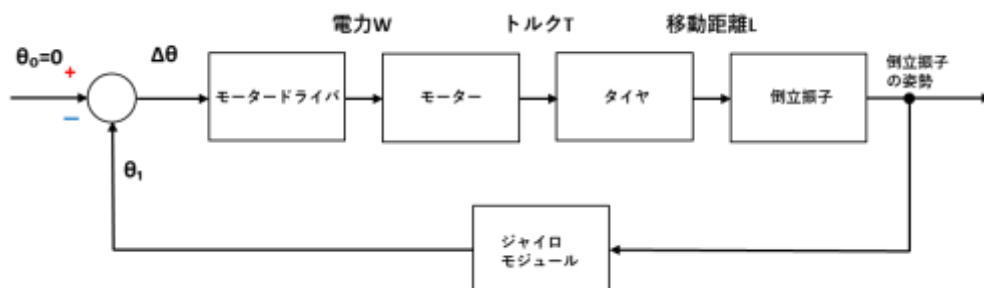


図 1 二輪倒立振子ロボットのブロック線図

本研究での倒立振子の設計方法である PID 制御とは、図 1 のようなフィードバック制御のひとつである。入力値の制御を出力値と目標値 ( $\theta_0=0$ ) との偏差 ( $\Delta\theta$ )、その積分および微分で行う制御方式である。PID 設計の基本は比例制御 (P 制御) である。比例制御だけでは定常偏差が残る場合に比例+積分制御 (PI 制御) にし、さらに応答を改善させる場合に指令+積分制御+微分制御 (PID 制御) を考えるのが一般的な手法である。

### 【結果】

二輪倒立振子ロボットに PID 制御を適用させることで、倒立にさせることが出来た。今後、最終目標である現代制御を適応した倒立振子の作製に取り組む予定である。

## 脱原発と環境問題を考慮した標準電力系統モデルの作成 —EAST30 と AGC30 の統合—

\*齋藤郁弥(東海大学工学部電気電子工学科)

\*\*指導教員 石丸将愛(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. はじめに

日本大震災により被害を受けた東京電力㈱の福島第二原子力発電所は、4基すべての廃炉が表明され、福島県内の原発全10基の廃炉が決定された。それらを受け、原子力発電の代替として、再生可能エネルギーが普及している。再生可能エネルギーは、発電量を天候に左右されやすく、出力が安定しない。そのため、系統の周波数を乱してしまう。このような再生可能エネルギーの導入による周波数の影響を解析するために AGC30 の系統モデルが作成された。一方、過渡安定度の標準モデルである EAST30<sup>[1]</sup>も公開されているが、約20年前に作成されたモデルであり、原子力発電所も系統に残っている。

本研究では、現代のエネルギー環境にマッチした EAST30 系統モデルの検討、作成を目的としている。

### 2. 電力系統標準モデルの統合

現代の日本では原子力発電所の廃炉によるエネルギーのベストミックスの変化や、需要の変化などにより、EAST30 は実際の系統とは異なってきている。また、再生可能エネルギーによる発電が盛んになってきているが、それらが反映されていない。そこで、再生可能エネルギーによる発電や、現代の需要に適應させた標準モデルが必要であると考えた。

### 3. EAST10

EAST10 は1997年に電気学会電力系統技術委員会によって作成、公開された系統で、東日本のループ系統を模擬することにより、安定度的に強固な体質を実現することができる。また、500/275kV 異電圧ループ系統の付加により、実系統の特長である2~4秒の長周期動揺が発生するよう配慮されたモデルとなっている。EAST10 系統モデルの系統図を図1に示す。

これらの要因により、解析がしやすいことも利点である。また、50Hz 系統の特性を反映したモデルとなるよう、実系統の縮約をベースとして作成されたモデルである。しかし、EAST10 では、発電機の出力調整に対する解析が難しく、長時間の解析には向いていない。

また、現代の主流になりつつある自然可能エネルギーによる不安定な供給への対応も遅れている。

### 4. 検討方法

EAST10：自系統（関東）＋他系統（東北）

AGC30：自系統／他系統

系統数、総需要値が異なるため各発電機数および予想需要、負荷合計をそろえ、検討を行う。

また、EAST10 系統モデルの原子力を再生可能エネルギーによる発電とし、電力系統の解析、およびかと安定度の解析を行う。

#### 参考文献

[1] 電力需給解析モデル標準化調査専門委員会：「電気学会技術報告第754号 電力系統の標準モデル」電気学会出版

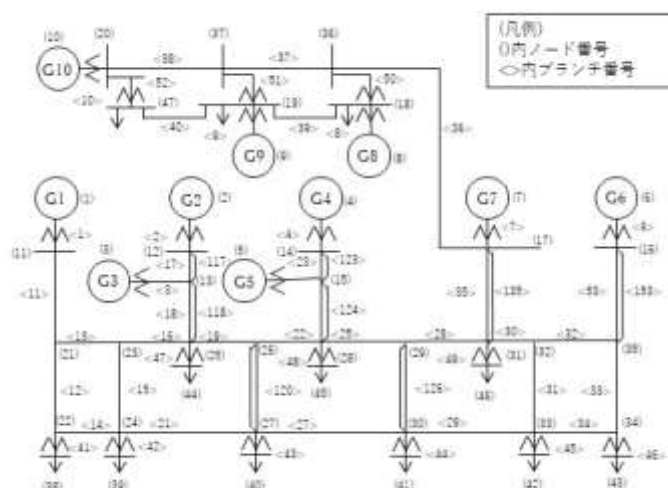


図1 EAST10 系統モデルの系統図

## ハイブリッド励磁形同期機駆動用インバータの駆動方式に関する研究

\*鈴木寛隆(東海大学工学部電気電子工学科)、平山武尚(東海大学工学部電気電子工学科)

ムハマド フィトリ ビン ハナフィ(東海大学工学部電気電子工学科)

\*\*大口英樹(東海大学工学部電気電子工学科)

[はじめに]

現在、様々な機械に永久磁石モータが使われている。一例として自動車用モータがあり低速域では大トルクかつ最高回転速度が高い特徴がある。近年、自動車用PMモータの高効率化に向けモータ内の磁束を調整できる可変磁束モータの研究が進められている。可変磁束モータは低速域での電流低減が可能となる利点があるものの、その一つであるハイブリッド励磁形可変磁束モータを駆動するためのパワーエレクトロニクス回路はインバータとチョップ二つ必要なため装置が大型化する可能性がある。本研究の目的は、ハイブリッド励磁形同期機駆動用の装置をインバータ一つにし簡素化することである。

[内容]

Fig. 1 に提案する簡素化した駆動装置に Fig. 2 のような二相変調の指令値をスイッチング素子のゲートに入力し、Fig. 1 の回路図のスイッチ  $S_0$  を on または off とした場合について回路シミュレータ (PSIM) で解析を行った。条件を以下に示す。

- 1) 二相変調、スイッチ  $S_0$ =off、インバータ出力周波数=50Hz
- 2) 二相変調、スイッチ  $S_0$ =on、インバータ出力周波数=50Hz

[結果]

Fig. 3 に  $S_0$ =off、Fig. 4 に  $S_0$ =on として解析を行った結果を示す。Fig. 3 よりインバータ出力電流が交流電流となり波高値 4.3A、周波数 50Hz の電流が出力されていることがわかる。また、Fig. 4 よりインバータ出力電流が歪み、三相同一かつ三倍の周波数の電流が流れていることがわかる。このことから提案する回路に二相変調を適用する場合には、 $S_0$ =off にし駆動する必要があることが今回の解析により明らかとなった。

今後の課題として、ハイブリッド励磁形可変磁束モータの設計が挙げられる。

[参考文献]

- (1) 水野孝行、永山和俊、足利正、小林忠夫:

「ハイブリッド励磁形ブラシレス同期機の動作原理と基本特性」、電学論 D、115 巻、11 号(1995)

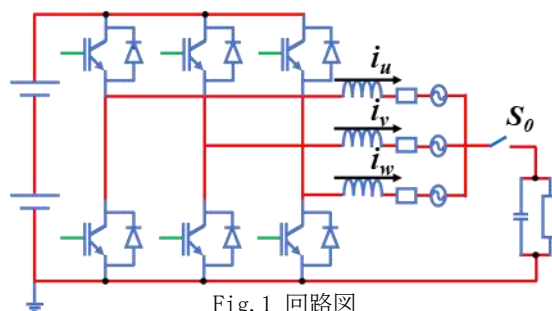


Fig. 1 回路図

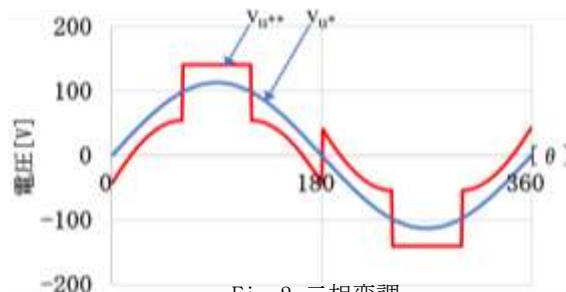


Fig. 2 二相変調

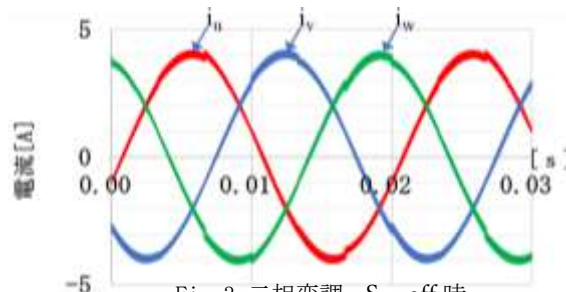


Fig. 3 二相変調、 $S_0$ =off 時のインバータ出力電流波形

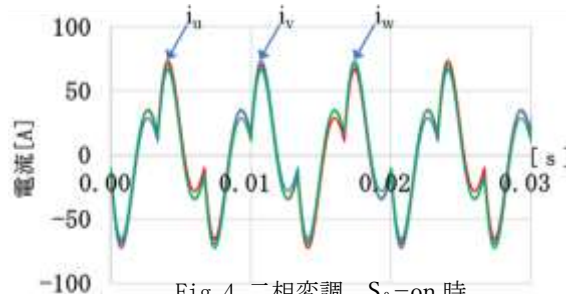


Fig. 4 二相変調、 $S_0$ =on 時のインバータ出力電流波形



## ハイブリッド励磁形同期機駆動用インバータに関する研究

\*平山武尚(東海大学工学部電気電子工学科)、鈴木寛隆(東海大学工学部電気電子工学科)、ムハマドフィトリビンハナフィ(東海大学工学部電気電子工学科)

\*\*大口英樹(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. はじめに

現在では様々な機械に永久磁石モータが使われており、一例としてハイブリッド/電気自動車がある。

これら自動車用モータは低速域では大トルクかつ最高回転速度が高い特徴があり、近年車載用PMモータの高効率化に向け、モータ内の磁束を調整できる可変磁束モータが注目されている。

### 2. 目的

文献[1]において、ハイブリッド励磁形可変磁束モータ駆動装置にはインバータとチョップの2つのパワーエレクトロニクス回路が用いられている。一方、文献[2]において、チョップを排した回路が提案されているものの、動作検証がなされていない。

本論ではこの回路の動作可否をシミュレーションにより検証をする。

### 3. 研究内容

図1に提案回路を示す。この回路ではモータ部分は等価回路とした。

シミュレーションには回路シミュレータPSIMを用いた。

シミュレーションにより、インバータ出力電流  $i_u$ 、 $i_v$ 、 $i_w$  と界磁回路電圧  $v_o$  を評価した。

図2にモータ低速駆動時のシミュレーション波形をそれぞれ示す。

### 4. 結果

図2より、提案回路はインバータのみで界磁回路に直流電力を供給しながら負荷に三相交流電流を流すことができることがわかる。

図3にデューティを変化させたときの界磁回路電圧のシミュレーション結果と理論値との比較を示す。図3よりモータが低速駆動時において界磁回路電圧の理論値とシミュレーション値がほぼ一致した。

以上より、提案回路はチョップなしでハイブリッド励磁形可変磁束モータを駆動できると考えられる。

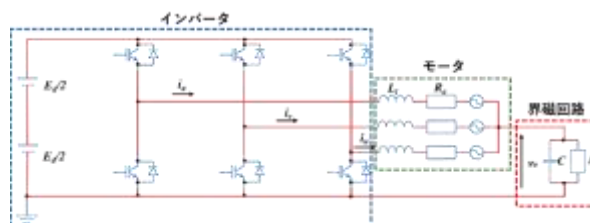
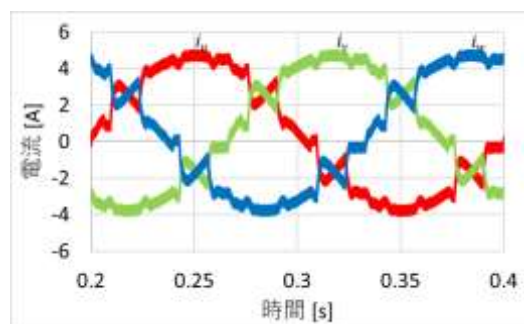
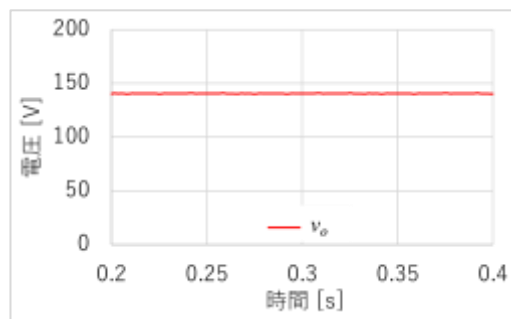


図1 動作検証回路



(a) 電流波形



(b) 界磁回路電圧波形

図2 モータ低速駆動時のシミュレーション波形

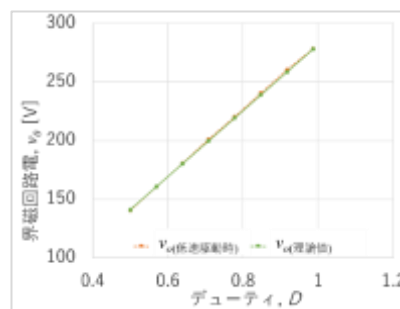


図3 シミュレーション結果と理論値との比較

### [参考文献]

[1] 水野孝行、永山和俊、足利正、小林忠夫「ハイブリッド励磁形ブラシレス同期機の動作原理と基本特性」電学論D、115巻、11号、1995

[2] 特開 2016-19327



## 永久磁石同期機の面内渦電流損に関する研究

\*川上 光太郎(東海大学工学部電気電子工学科)、山本 龍一(東海大学工学部電気電子工学科)

高橋 英雄(東海大学工学部電気電子工学科)、井形 駿太(東海大学工学部電気電子工学科)

\*\*大口 英樹(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. はじめに

近年、世界の消費電力のうち、モータが40～50%を占めていると言われており、モータの効率を向上すれば、現在、世界的な問題となっている環境問題に大きく貢献できると考えられる。日本国政府が「脱炭素社会」を実現する長期戦略を閣議決定したこと、また1999年に三相誘導電動機の「トップランナー制度」が定められたことからモータの高効率化は今まで以上に重要になると考えられる。また、モータの中でもより高効率な永久磁石(PM)モータが注目され始めている。

一般的な回転機の損失は銅損、鉄損、機械損、漂遊負荷損の四つに分けられる。

PMモータは一般的に高効率であるものの、参考文献[1]において、PMモータでも仕様によっては漂遊負荷損が大きくなるケースが報告されている。

### 2. 本研究の目的と課題

- (1) 効率向上する手段として主に大型化、材料のグレードアップ、漂遊負荷損の低減がある。本研究では大型化や材料のグレードアップをせず、漂遊負荷損を見える化し、回転機の高効率化を実現する。
- (2) 参考文献[1]の機械に対し、極数とスロット数を変更したモデル(表1、図1)の漂遊負荷損を電磁界解析により明確化する
- (3) 鉄損解析に適するメッシュ条件を導出することを目指す。

表1 対象モータ仕様

| 項目                  | 値     | 単位                |
|---------------------|-------|-------------------|
| 定格出力                | 5.3   | kW                |
| 定格トルク               | 25    | Nm                |
| 定格回転速度              | 2000  | min <sup>-1</sup> |
| 最高回転速度              | 10000 | min <sup>-1</sup> |
| 定格電流                | 43.5  | A                 |
| 無負荷誘起電圧(線間実効値) 定格速度 | 123.8 | V                 |
| d軸インダクタンスLd         | 4.4   | mH                |
| q軸インダクタンスLq         | 7.00  | mH                |
| 巻線抵抗(1相当り)          | 0.13  | Ω                 |
| 極数                  | 6     | -                 |
| スロット数               | 36    | -                 |

### 3. 研究内容

電磁界解析ソフトであるJMAGでシミュレーションを行い、正弦波電流による鉄損解析を行った。パラメータはメッシュの要素サイズとし、これが鉄損に与える影響を評価した。

### 4. 結果

図2に要素サイズの倍数ごとの平均トルクを、図3に要素サイズの倍数ごとの鉄損総和をそれぞれ示す。要素サイズの倍数1を基準とし、要素サイズを大きくすると鉄損・平均トルクが低下することが確認された。

要素サイズ1倍のメッシュに対し、許容誤差をたとえば4%以下とすると、解析の結果から、要素サイズは10倍までが許容範囲内となる。

今後の課題として2Dモデルを3Dモデル化した面内渦電流損の解析が挙げられる。



図1 JMAG  
シミュレーションモデル

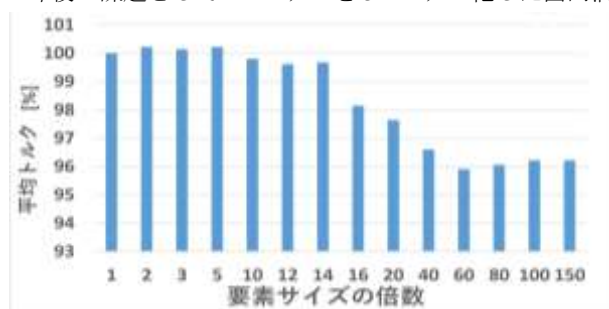


図2 要素サイズの倍数ごとの平均トルク

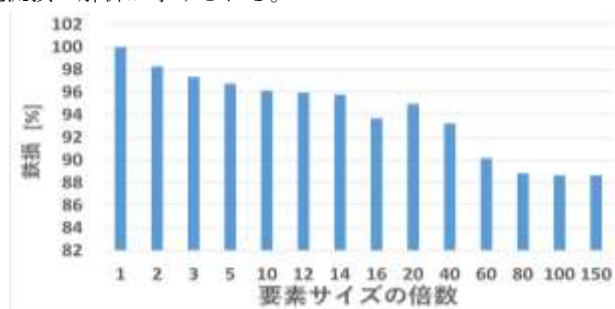


図3 要素サイズの倍数ごとの鉄損総和

[参考文献]

[1] Hideki Ohguchi, Satoshi Imamori, Katsumi Yamazaki, Haiyan Yui, Masao Shuto: "Analyses of Circulating-current Loss in Armature Winding and In-plane Eddy-current Loss in Electrical Steel Sheets of Permanent-magnet Synchronous Machines," IEEJ Journal of Industry Applications, Vol. 8, No. 3, pp.452-457 (2019)

## 車両用パワートレインの高性能化に関する研究

**\*福江 祥充(東海大学工学部電気電子工学科)、長谷川 勇也(東海大学工学部電気電子工学科)、  
八木 翔平(東海大学工学部電気電子工学科)、矢作 洸太(東海大学工学部電気電子工学科)、  
\*\*大口 英樹(東海大学工学部電気電子工学科)**

### 1. 研究背景

地球温暖化等の環境問題により世界各国で自動車の電動化政策が進められている。今後、本格化するであろう自動車の電動化社会に向けて航続距離の向上等が求められており、パワートレインの高性能化が求められている。ここでのパワートレインとはインバータおよびモータを示している。

### 2. 目的

電動化車両のモータとインバータの双方の高性能化によりパワートレインの高性能化を目指す。

### 3. 研究課題

本研究では、アウターロータ型 DC ブラシレスモータ (CQ 出版社、CQ ブラシレスモータ) を対象とし、矩形波・正弦波の二種類の制御方式について PC 上でシミュレーションを行い、モータとインバータそれぞれの効率特性を定量化し、今後のパワートレインの方向性を見出す。

本論では、シミュレーションに用いるモータモデルの構築を行った。

### 4. 解析内容

図 1 にモータモデルを示す。本モータは 12 極 18 スロットである。図 2 にモータの誘起電圧の実測値と解析値の比較を示す。また、図 3 にトルク-電流特性のカタログ値と解析値の比較を示す。

### 5. 解析結果

図 2 より、誘起電圧の実験値と解析値がほぼ一致した。また、図 3 よりトルク-電流特性についてカタログ値と解析値はほぼ一致した。よって、今回構築したモータモデルは実機を忠実に再現できていると考える。

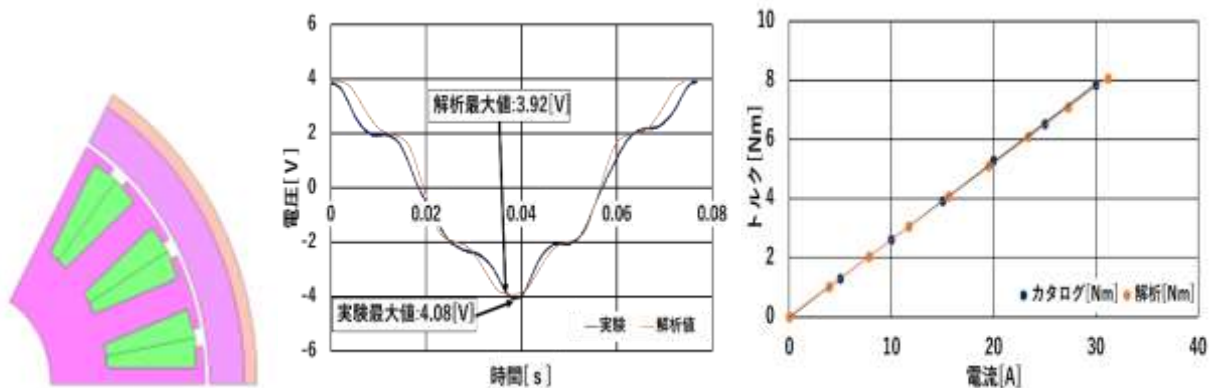


図 1 モータモデル

図 2 誘起電圧の比較

図 3 トルク-電流特性

### 6. 今後の課題

インバータキャリア高調波を考慮したモータの損失解析および、インバータスイッチング素子の損失解析を実施し、2 種類の駆動方式における総合効率を明らかにする。

# SAS 団体会員 (2019 年度)

(50 音順)

|                    |                 |
|--------------------|-----------------|
| 株式会社 オーネックス        | 第一熱処理工業株式会社     |
| 株式会社 ヲートニクス精密      | 岳石電気株式会社        |
| オリエタルエンジニアリング 株式会社 | 株式会社 巴商会        |
| 関東冶金工業株式会社         | 日鍛バルブ 株式会社      |
| 旭東ダクタイル株式会社        | 日本ベールーツ株式会社     |
| 株式会社 極東窒化研究所       | ハーカー S・N 工業株式会社 |
| 島崎熱処理株式会社          | 株式会社 山本科学工具研究社  |
| 株式会社 昭和真空          |                 |

計 15 社

## **2019 SAS Symposium ABSTRACTS**

令和元年 11 月 14 日発行

編集発行 SAS (Society of Advanced Science)

〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学湘南キャンパス J 館 4 階

TEL 0463-50-5505 FAX 0463-50-5506

E-mail [jased@sas-jas.gr.jp](mailto:jased@sas-jas.gr.jp) URL <http://www.sas-jas.gr.jp>

発行人・山田 豊

© 2019 Society of Advanced Science