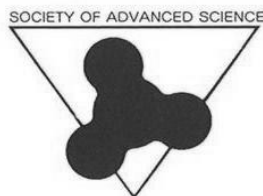


*32<sup>nd</sup>*  
*2020 SAS Symposium*

***ABSTRACTS***



日時： 2020年11月12日(木)、13日(金) 10:00~16:30

Zoomを使用したオンライン開催

主催： SAS (Society of Advanced Science)

後援： 東海大学

## 32<sup>nd</sup> 2020 SAS Symposium スケジュール

11月12日(木)		11月13日(金)	
9:15	開室	9:15	開室
10:00	シンポジウム開会式 実行委員長 宮沢先生ご挨拶	10:00	<b>セッション6</b> 東海大学工学部光・画像工学科 渋谷先生
10:05 ～ 12:15	<b>セッション1</b> 東海大学工学部原子力工学科 松村先生 発表領域：B1～B5 <b>セッション2</b> 東海大学工学部材料科学科 小黒先生 発表領域：B6～B9, H5	11:57	発表領域：A1～A5 <b>セッション7</b> 東海大学工学部原子力工学科 松村先生 発表領域：A6～A9
	休憩		休憩
13:00 ～ 14:57	<b>セッション3</b> 東海大学教養学部人間環境学科 小栗先生 発表領域：C1, C2, E1～E3 <b>セッション4</b> 東海大学工学部機械工学科 岡永先生 発表領域：E4～E7	13:00 ～ 15:23	<b>セッション8</b> 東海大学工学部電気電子工学科 庄先生 発表領域：A10～A13, G1, G2 <b>セッション9</b> 東海大学工学部材料科学科 源馬先生 発表領域：G3～G6, F1
	休憩		休憩
15:05 ～ 16:10	<b>セッション5</b> 東海大学工学部電気電子工学科 桑畑先生 発表領域：H1～H4, H6	15:30 ～ 16:35	<b>セッション10</b> 東海大学工学部原子力工学科 松村先生 発表領域：F2～F6
	第1日目 終了	16:35	シンポジウム閉会式 SAS 理事長 山田先生ご挨拶

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

<32<sup>nd</sup> 2020 SAS シンポジウム実行委員会組織>

実行委員長	宮沢 靖幸	東海大学 工学部 材料科学科
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
	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
	小栗 和也	東海大学 教養学部 人間環境学科
	川名 優孝	東京海洋大学 産学・地域連携推進機構 越中島刈込
	神田 昌枝	中部大学 工学部 宇宙航空理工学科
	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
	高橋 幸一	日鍛バルブ株式会社
	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
	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

(五十音順、敬称略)

## <32<sup>nd</sup> 2020 SAS シンポジウム 題目一覧>

会期 2020年11月12日(木)、13日(金) 10:00~16:30

Zoomによるオンライン口頭発表

\*発表者 \*\*指導教員

### A: 材料工学 (ナノテク、有機・高分子含む)

- 13(金) A-1 **異形態ろう材の同時使用によるろう付**  
\*山崎交輝(東海大学工学部材料科学科)、酒井真菜(東海大学大学院工学研究科応用理学専攻)、\*\*宮沢靖幸(東海大学工学部材料科学科)
- 13(金) A-2 **黄銅/ステンレス鋼のろう付プロセスの確立**  
田嶋晃(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、吉田和広(東海大学工学部材料科学科)、宮沢靖幸(東海大学工学部材料科学科)
- 13(金) A-3 **Ni系箔状ろう材によるステンレス鋼ろう付体組織が耐食性に及ぼす影響**  
\*大野真沙(東海大学工学研究科)、山崎交輝(東海大学工学部)、備前嘉雄(日立金属株式会社)、\*\*宮沢靖幸(東海大学工学部、東海大学工学研究科)
- 13(金) A-4 **C/C コンポジットとステンレス鋼のろう付プロセスの開発**  
\*内堀宗民(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、山崎詩音(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)
- 13(金) A-5 **YbBCO 超伝導丸線の作製と評価**  
\*小澤優一郎(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)\*\*小黒英俊(東海大学工学部材料科学科)
- 13(金) A-6 **テープ線材を利用した YBCO 丸線の作製と組織観察**  
\*小島寛航、小澤優一郎(東海大学大学院 工学研究科) \*\*小黒英俊(東海大学 工学部材料科学科)
- 13(金) A-7 **Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材への添加元素の原子半径の違いによる効果**  
\*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)
- 13(金) A-8 **液中プラズマ法を用いた燃料電池用 Pt 触媒の作製および評価に関する研究**  
\*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)
- 13(金) A-9 **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用担持体への応用に関する研究**  
\*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)
- 13(金) A-10 **18-8 ステンレス鋼板と炭素繊維強化熱可塑性耐熱スーパーエンジニアリングプラスチックの接着力に及ぼす電子線照射の効果**  
\*平井 開都(東海大学工学部精密工学科)、三浦 栄一、竹田 圭佑、志村 大夢、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(KISTEC)、\*\*内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科)

- 13(金) A-11 **電子線照射侵入深さの傾斜機能特性を利用した炭素繊維強化プラスチックの強靱化**  
\*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)、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)
- 13(金) A-12 **避雷用銅板と炭素繊維強化スーパーエンジニアリングプラスチックの接着性に関する研究**  
\*志村大夢、三浦 栄一、竹田 圭佑、木村 英樹(東海大学大学院工学研究科)、土屋 寛太郎(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(KISTEC)、\*\*内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科)
- 13(金) A-13 **Ni 中の水素透過に関する研究**  
\*松本睦輝(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、尾高弘紀(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、\*\*内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科)

## B : 自然・環境エネルギー

- 12(木) B-1 **PV 発電システムの需要対応型 MPPT 制御の効果**  
\*志賀智至 (神奈川工科大学電気電子情報工学科)、大貫靖一郎(神奈川工科大学電気電子情報工学科)、久邇之明 (神奈川工科大学電気電子情報工学科)、柳生大成 (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)
- 12(木) B-2 **固体高分子型燃料電池の出力特性改善に関する検討**  
\*遠藤琢磨(神奈川工科大学電気電子情報工学科)、Sumon(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)
- 12(木) B-3 **PSIM によるアクティブ PV アレイの効果の検討**  
\*徐川翔(神奈川工科大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*指導教員 板子一隆(神奈川工科大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)
- 12(木) B-4 **PV 発電システムにおける系統側高調波電流低減のための PCCS 法**  
\* 藤井陸(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)
- 12(木) B-5 **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 (東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、\*\*源馬龍太 (東海大学工学部材料科学科)
- 12(木) B-6 **負荷抵抗の時間変動に対する熱音響発電の応答性**  
\*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)
- 12(木) B-7 **小型水素ロータリーエンジン内部の数値流体解析に及ぼすローター-ハウジング間のギャップの影響**  
\*鈴木僚(東海大学工学研究科機械工学専攻) \*\*神崎昌郎(東海大学工学部機械工学科)
- 12(木) B-8 **圧電振動発電における金属材料の比較**  
\*土屋 明花(東海大学工学部精密工学科)、\*\*土屋 寛太郎(精密工学科)、内田 ヘルムート貴大(精密工学科)、森山 裕幸(動力機械工学科)、岩森 暁(機械工学科)
- 12(木) B-9 **熱音響機関に接続するリニア発電機の磁場解析を用いた設計**  
\*福田 純一郎(東海大学大学院)、\*\*木村 英樹(東海大学)、佐川 耕平(東海大学)、長谷川 真也(東海大学)

## C: 機械工学

- 12(木) C-1 **ディンプル数によって変化させた占有率が回転するゴルフボールの空力特性に与える影響**  
\*森山 幸平(東海大学工学部機械工学科)、\*小関 貴裕(東海大学工学部機械工学科)、\*柴田 康平(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻) \*\*岡永 博夫(東海大学工学部機械工学科)
- 12(木) C-2 **ジャイロモノレールの製作及び安定性に関する研究**  
\*天谷 知司(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、\*\*土屋 寛太郎(東海大学工学部精密工学科助教)、\*\*奥山 淳(東海大学工学部精密工学科教授)

## E: 光・プラズマ理工学

- 12(木) E-1 **大気圧プラズマジェット照射による有色水溶液の脱色**  
\*佐藤大輔(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、小田慶喜(東海大学研究推進部)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)
- 12(木) E-2 **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(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、笠井哲郎(東海大学工学部土木工学科)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)
- 12(木) E-3 **大気圧プラズマジェットを用いた室温・1気圧でのアンモニア合成**  
\*辻 拓(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、三上一行(東海大学理学部化学科)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)
- 12(木) E-4 **大気圧プラズマジェットを用いたアルミ蒸着薄膜の横方向エッチング**  
\*平島伊織(東海大学工学部電気電子工学科)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)
- 12(木) E-5 **大気圧プラズマジェット照射によるアルミニウムの表面加工**  
\*小川嵩太(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)
- 12(木) E-6 **核融合壁材料であるタングステンへの重水素プラズマ暴露実験**  
\*林俊輔(東海大学理学部物理学科)、金子新(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)、小栗和也(東海大学教養学部自然環境課程)、松村義人(東海大学工学部原子力工学科)、佐藤浩之助(東京理科大学)、河村和孝(東海大学)
- 12(木) E-7 **核融合プラズマ加熱用非Cs型負イオン源の引き出し特性**  
\* 永坂優弥(東海大学理学部物理学科)、神永啓希(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)、\*\* 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)、河村和孝(東海大学理学部物理学科)

## F: 生命・生体理工学

- 13(金) F-1 **CNNによる脳波状態分類に必要なデータ量の検討**  
\*小笹龍之介(東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻)、山本尚哉(東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻)、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)、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)

- 13(金) F-2 **唾液尿酸計測のための BLE 無線通信式マウスピース型バイオセンサの開発**  
\*久保寺智哉、大石琢史(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)
- 13(金) F-3 **バイオ蛍光法を用いた皮膚アセトアルデヒドガス用探嗅カメラに関する研究**  
\*佐川 行哉(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)
- 13(金) F-4 **皮膚エタノールガス連続計測のためのバイオ蛍光式ガスセンサシステム**  
\*張 耿、鈴木 卓磨(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)
- 13(金) F-5 **表面プラズモン増強蛍光(SPF)を用いた心筋トロポニンの半連続免疫測定**  
\*里村 結衣、大石 紘希(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)
- 13(金) F-6 **口腔物理情報を対象としたマウスピース型 IoT デバイスに関する研究**  
\*趙 于民、仁田 大揮(東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科)、春日 柚香(東京医科歯科大学歯学部)、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)

#### G：薄膜・表面物性工学

- 13(金) G-1 **基板バイアスを変化させ成膜した SmFe 薄膜の面内応力に及ぼす水素添加の影響**  
神谷 征人(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、片岡 竜一(東海大学工学部原子力工学科)、山田 拓海(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)、大野 聖海(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)、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)、\*\* 源馬 龍太(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)
- 13(金) G-2 **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**  
\*林 諄真(東海大学大学院工学研究科源馬研究室)、中廣 駿太郎(東海大学大学院工学研究科源馬研究室)、\*\*源馬 龍太(東海大学材料科学科源馬研究室)
- 13(金) G-3 **Ni 薄膜の面内応力に及ぼす基板バイアスの影響**  
\*片岡 隆一(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)
- 13(金) G-4 **高周波スパッタにより低温形成した ITO 薄膜のポストアニール効果**  
\*久瀬 登雲(東海大学工学部電気電子工学科)、篠崎 貴紀(東海大学工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*磯村 雅夫(東海大学工学部電気電子工学科)
- 13(金) G-5 **ホウ素過剰添加による TiB<sub>2</sub> 系複合膜の超低摩擦特性発現温度の拡大**  
\*大和 航(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、\*\*神崎 昌郎(東海大学工学部機械工学科)
- 13(金) G-6 **電気化学的水素ローディングが磁歪薄膜に及ぼす影響**  
\*大野 聖海(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)、神谷 征人(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、源馬 龍太(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)

## H: その他

- 12(木) H-1 **ブラシレス DC モータの駆動方式による効率の比較に関する研究**  
\*福江 祥充(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*大口 英樹(東海大学工学部電気電子工学科)
- 12(木) H-2 **同一仕様・形状の異なる永久磁石同期機の面内渦電流損失の比較に関する研究**  
\*川上 光太郎、平山 武尚(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*大口 英樹(東海大学工学部電気電子工学科)
- 12(木) H-3 **永久磁石と直流界磁巻線を用いたハイブリッド界磁同期機に関する研究**  
\* 鈴木寛隆、平山武尚(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*大口英樹(東海大学工学部電気電子工学科)
- 12(木) H-4 **永久磁石同期機の面内渦電流損失における出力依存性に関する研究**  
\*平山武尚、川上光太郎(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*大口英樹(東海大学工学部電気電子工学科)
- 12(木) H-5 **ギターの音色の電氣的分析に関する検討**  
\*田中萩乃(神奈川工科大学電気電子情報工学科)、服部凪夏(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)
- 12(木) H-6 **交通規制を報知するシステムの開発**  
\*清水 祐輝(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*佐川耕平(東海大学工学部電気電子工学科)、\*\* 木村英樹(東海大学工学部電気電子工学科)

以上



## 異形態ろう材の同時使用によるろう付

\*山崎文輝(東海大学工学部材料科学科)、酒井真菜(東海大学大学院工学研究科応用理学専攻)、\*\*宮沢靖幸(東海大学工学部材料科学科)

### 1. 目的

ろう付では製品用途と母材に適合したろう材の選定が重要である。ろう材は合金であるため、合金の性質により供給時の形態は多様であり、箔、粉末というように複数の形状がある。機械加工が難しい合金の場合、粉末で供給される場合が多い。広く使用されるが、バインダーと混合しペースト状にして使用するため塗布後に脱落する、脱バインダー工程が必要という欠点がある。これに対し、箔状は粉末ろうの2倍程度の価格であるが、面積、間隙制御が容易であり利便性が良い。ステンレス鋼のろう付が行われる代表的な製品がEGRクーラーである。EGRクーラーは熱交換器の一種であり、エンジン排気ガスの一部を冷却し、エンジンに再供給する機能を持つ。そのためEGRクーラーは耐熱性及び耐食性に優れるステンレス鋼が使用され、多数箇所かつ複雑な形状の接合、さらには気密性が求められるため、ろう付が適用される。ろう付が用いられる接合箇所は気密、水密が求められることが多く、良好なろう付ができているかどうかはフィレットの形状、サイズなどで判断できる。ろう材は通常、単一形態で使用され、別形態のろう材を同時に使用する事例はなく、これについて研究が行われた例もない。先行研究によって、箔と粉末ろう材の同時使用でろう付部、フィレット部に明らかな化合物の差などは生じておらず、異形態のろう材同時使用は有効であると考えられる。そこで本研究では粉末状Ni系ろう材と箔状Ni系ろう材を同時使用し、ろう材の設置位置、継手形状を変更することでボイドの抑制、適正形状のフィレット形成を目的とする。

### 2. 実験方法

試験片として、母材にオーステナイト系ステンレス鋼 SUS316L、ろう材としてNi系粉末ろう材 Bni-2 にバインダー TBFLUX060 を10%含有させたペーストと、Ni系箔状ろう材 MBF-20 を用いた。母材、ろう材を図1に示すように配置し、SUS治具で固定した。ろう付は真空雰囲気で行い、昇温速度を20 K/min、脱バインダー温度600°Cで15 min 保持し、ろう付温度1050°Cで10 min 保持した後、空冷した。ろう付後、ろう付部、フィレットの外観観察および、光学顕微鏡による断面組織観察を行った。

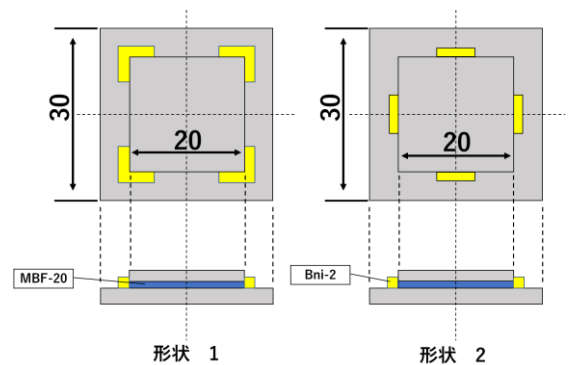


図1 試験片概略図

### 3. 結果

ろう付試験片の外観観察から、設置したろう材は同量ながら、形状1よりも形状2のほうが大きいフィレットを形成した。また、どちらの形状においてもろう材の不足によるろう切れなどは起こしていなかった。断面組織観察は形状1についてのみを行い、適正なフィレットの形成を確認した。今回の実験では治具固定時の圧力、昇温、ろう付温度におけるろう材の熔融挙動などについては検証しておらず、これらの要因がフィレットサイズの大小に影響を及ぼしたと考えられる。ペーストろう材を揮発ガス、熔融ろう材の広がり考慮し設置位置を変更することで、良好なフィレットを形成させることができると考えられる。

## 黄銅/ステンレス鋼のろう付プロセスの確立

田嶋晃(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、吉田和広(東海大学工学部材料科学科)

宮沢靖幸(東海大学工学部材料科学科)

### 【緒言】

従来、黄銅はPbを添加することで切削性を向上させ、配管部材などに広く用いられてきた。しかし、近年では飲料水水質基準法の改正により、配管部材に使用される黄銅中のPbの加重平均値が0.25%未満に規制されている。そのため、Pbの代替元素としてBiやSiを添加したPbフリー快削黄銅が開発され、実用化されている。これまでの研究で黄銅は異種材料と組み合わせて使用することで、より多くの場所で応用できることが見込まれており、精力的に研究が行われている。黄銅とステンレス鋼に代表される異種金属材料のろう付は、今後、さらに必要となる。しかし、様々な代替元素を添加している新しい黄銅は接合性が悪く、ステンレス鋼など異種金属材料とのろう付が困難になっている。また、黄銅とステンレス鋼をろう付する場合、小さな形状の製品なら電気炉を用いてろう付を行うことができる。しかし、大きなものや配管部などをろう付する場合、電気炉でろう付することが出来なくなる。この時に使用するのがバーナーやトーチを用いたろう付である。そのため、バーナーを用いたろう付の研究や電気炉とバーナーを比較するような熱源に着目した研究が必要になってきているが、現在までにろう付時の熱源がろう付性やろう付部組織に及ぼす影響を詳細に調査した研究はほとんど無い。熱源の変化は、物体の加熱のされ方に大きく影響を及ぼす。炉中では対象物が均一に加熱されて、内部まで熱が伝導する。一方、バーナーでは、局所的に対象物が加熱されそこから全体に熱が広がるため、加熱のされ方に違いが生まれる。従って、熱源が、界面反応やろう付性に及ぼす影響を詳細に調査し、使用する熱源に最適なろう付プロセスを研究する事が重要と考えた。一般的にろう付部が一様に加熱されていない場合、ろう付が十分にされない可能性があるため、熱源に合わせたろう付プロセスの解明は重要である。そこで、本研究では熱源が黄銅ステンレス鋼ろう付時の界面反応やろう付性に及ぼす影響に検討を加えることを目的とした。

### 【実験方法】

SUS304と4種類の黄銅(C3604、Biが1.2%含まれているC6803、Biが2.2%含まれているC6803、Snが1.2%入っており他のPbフリー黄銅よりもPbの含有量の多い黄銅)を使用した。SUS304及び各種黄銅をφ15mm、長さ5mmに切断し切断面を耐水ペーパー#2000まで研磨し、表面を一定にした。板状や箔状、棒状のように様々な形状のろう材が存在しており、先行研究にて棒状ろう材で実験を行ったが、未接合部が出来たため本実験では箔状ろう材Si1108をφ15mmの円状に加工し試験片を作製した。フラックスにはリン銅ろう、銀ろう用ナイス社製F200を使用した。ろう付温度780°C、ろう付時間20分、アルゴン雰囲気下で加熱し加熱後20分間空冷を行った。実験後、試験片を縦方向に半分に切断し、ろう付部の組織観察を行った。

### 【結果】

研磨を行った試験片を蒸留水25ml、25%アンモニア水25ml、3%過酸化水素水20mlを混ぜ合わせた腐食液を用いてエッチングを行い、ろう付部の組織観察をおこなった。本実験で作製した試験片と同じ材料でバーナーろう付によって作製した試験片を比べることで加熱源によるろう付部に与える影響を観察した。その後、炉中でろう付した試験片とバーナーろう付で作製した試験片とを比較し評価を加えた。

## Ni 系箔状ろう材によるステンレス鋼ろう付体組織が耐食性に及ぼす影響

\*大野真沙(東海大学工学研究科)、山崎交輝(東海大学工学部)、備前嘉雄(日立金属株式会社)、\*\*宮沢靖幸(東海大学工学部、東海大学工学研究科)

## 【緒言】

ステンレス鋼は靱性や耐食性が優れているため自動車の EGR クーラー用材料にも使用されている。本研究室では低コストかつ高品質な製品の製造を目標に箔状 Ni 系アモルファスろう材によるフェライト系ステンレス鋼のろう付に関する研究を続けている。その結果、母材中 Cr がろう材中 B と反応し、Cr-B 化合物が形成することを確認した。その形成メカニズムは Ni, Cr や B, Si などの拡散と相互反応が強く影響を及ぼすことまで明らかにしている。

また、各微細相がろう付体の耐食性に影響を及ぼすことが懸念されているが、その評価方法は、従来の腐食液に試験片を浸漬しその時間経過に対する重量や機械的性質の変化による評価方法よりも、アノード分極曲線を用いた測定が有効な手段であることも明らかにしている。

そこで、本研究では電気化学的手法を用いた耐食性評価と EPMA 分析などによる組織観察を組み合わせより良いろう付条件に検討を加えた。

## 【実験方法】

母材にはフェライト系ステンレス鋼である SUS444、ろう材には日立金属(株)製 Ni 系アモルファスろう材 MBF20®を使用した。試験片形状は Single-lap 形状とし、ろう付温度 1050 °C で真空炉を用いて炉中ろう付を行った。過去の研究成果より、ろう付時間を長くし拡散を促進させることで Cr 欠乏層が抑制される傾向にあると示唆されたため、本研究ではろう付時間は 5 分、1 時間および 3 時間とした。

各試験片の断面研磨を行い EPMA による元素分析を行った。また、分極測定においては、試験片を作用極、銅板を対極、Ag/AgCl 電極を参照電極とし、ポテンショスタットを用いた 3 極式セルを作製した。カプトンテープによる試験面積の制御後、0.05 mol% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 中で 50 mV/min で 2 V まで電圧を掃引、さらに分極測定の各段階における組織観察を行った。

## 【結果・考察】

EPMA による元素分析の結果から、ろう付時間が 1 時間、及び 3 時間の試験片では Cr 欠乏層が抑制されることが確認された(図 2)。また分極曲線から、ろう付時間 3 時間の試験片の耐食性が良好であった。(図 3)。

以上の結果から、Cr 欠乏層の形成を抑制、なおかつ耐食性が向上するろう付時間は 1 時間や 3 時間といった長時間であることが示唆された。

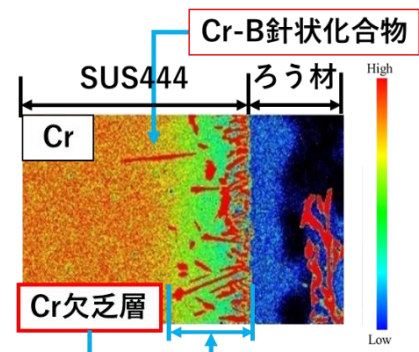


図 1 Cr-B 化合物と Cr 欠乏層

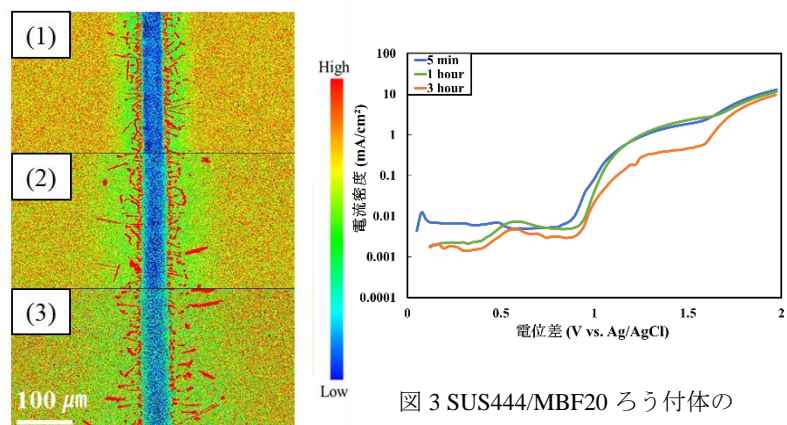


図 3 SUS444/MBF20 ろう付体の分極曲線

図 2 EPMA による Cr 分析結果  
(a) 5min (b) 1hour (c) 3hour

## C/C コンポジットとステンレス鋼のろう付プロセスの開発

\*内堀宗民(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、山崎詩音(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)

## 1. 目的

C/C コンポジットは高い比強度、熱伝導率、耐熱性、耐久性、耐摩耗、摺動性、等の多くの優れた特性を有している。しかし、現在の用途としては、自動車・航空機のブレーキディスク、工業炉、熱処理治具、等で使用されているが加工が困難であるため用途は少ない。現在の C/C コンポジットは機械的接合や接着が主流である。そこで、ろう付を利用し、C/C コンポジットと金属の接合を試みた。ろう付が可能になる事で低コスト且つ応用範囲の拡大が見込め、ろう付によって得られた接合体は従来よりも高い機能を求められる部分での応用が期待できると言われている [1]。しかし、従来の C/C コンポジットのろう付研究 [2] では継手強度が十分でないこと、活性金属ろう材がろう材に必要であることが発見されている。しかし、最適な Ti 含有量については不明である。そこで我々は活性金属元素と一般ろう材を組合せ、ろう材として使用することにより、疑似的な活性金属ろう材を作製した。過去の研究データ [1] から本実験では純 Ti と Ag 系ろう材の BA8-8 を用いる。C/C コンポジットと SUS304 は熱膨張率が異なるので均一にろう付して冷却する際、残留応力で割れが生じる可能性がある。この場合、冷却時間を長くすることにより割れは防止できるが、長い冷却時間が必要となる。そこで、そこで不均一にろう付をして残留応力を緩和し、割れがなく良好な接合体を得ることを目的として研究を行う。

## 2. 実験方法

試験片は、図 1 の様に箔状ろう材を積層させてろう付を行った。不均一ろう付をするため図 2 の様な 2 種類のドーナツ状の箔を作製した。箔の厚さは BA8-8、150  $\mu\text{m}$ 、Ti 箔、20  $\mu\text{m}$  で統一した。またろう付は温度 950 $^{\circ}\text{C}$ 、保持時間 10min、冷却方法は炉冷で行った。ろう付後、断面組織観察と強度試験を行った。

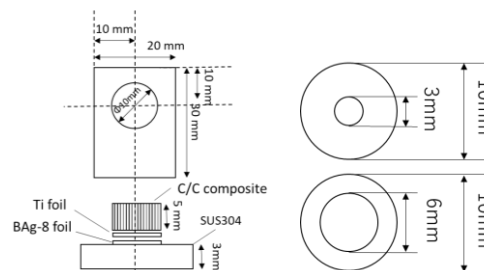


図 1 試験片組み立て図

図 2 ろう材配置

## 3. 結果

図 3 に内径 3mm の断面組織を示した。図 3 から C/C コンポジット側へのろう材の浸透があるのが明らかである。これは、活性金属が炭素と反応し化合物を形成しぬれ性を改善したため、ろう付に至った為である。しかし、C/C コンポジットとろう材間で剥離しているのがわかる。これは、冷却中に破断したと考えた。また図 4 から内径 3mm の強度が 16MPa と 6mm に比べ約 3 倍高度が上昇している事が分かった。

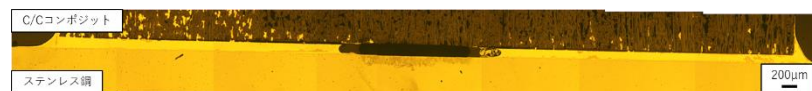


図 3 内径 3mm 断面組織

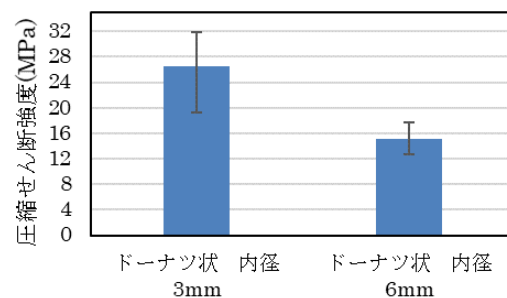


図 4 圧縮せん断試験結果

## 4. 参考文献

- [1] 池庄司 敏孝 炭素複合材と金属のろう付 溶接学会誌第 83 巻第 3 号 p199-203 (2014)  
 [2] 佐々木俊哉、宮沢靖幸、内堀宗民 Ti 箔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, 溶接学会全国大会 P214-215 (2018)

## YbBCO 超伝導丸線の作製と評価

\*小澤優一郎（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）

## 【背景・目的】

「超伝導」材料は、電流を電気抵抗ゼロで流すことができる材料である。一般的な送電線に用いられている銅線などの金属は電気抵抗があり、電流を流すと熱が発生してエネルギーを損失する。一方で、超伝導体は電気抵抗がゼロ、つまり電気を損失ゼロで送ることができる。例えば、この材料を電線として使うと、熱によるエネルギーロスを95%以上削減できると言われている。そのため、電気料金の大幅なコストダウンやCO<sub>2</sub>削減に、非常に効果的な究極のエコ材料として期待されている。しかし、超伝導体を実用化させるためには、継続的な冷却が必要である。中でも、高温超伝導体 REBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> (RE: イットリウムまたは希土類元素) (以後 REBCO) は、液体窒素冷却で超伝導が発現するため、超伝導特性を利用するための冷却コストが、非常に安価であることが最大の魅力である。現在までに開発されている REBCO 線材は、形状がテープ状である[1]。なぜなら、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、半導体等の薄膜作製技術を応用して結晶軸を揃えることを実現したためである。しかし、この線材の欠点は、剥離方向への力に対して非常に弱く、簡単に破損してしまうことが原因で製品化が困難な点である。そのため、製品化時に壊れにくく「扱いやすい REBCO の丸形状の線材」が世界中で求められている。そこで我々は、大電流通電が可能な REBCO 丸線材を作製することを最終目的としている。

一方で、REBCO バルク体は部分熔融状態から、種結晶から結晶を成長させる熔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]。熔融結晶成長法によるバルク体作製では融点の高い RE2BaCuO5 (RE211) を含む大型の REBCO バルク体を用いて、REBCO のみを部分熔融状態とし、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。この手法を線材作製に用いることで、REBCO の結晶軸が揃った大電流通電が可能な REBCO 丸線材を作製できると考えられる。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 YbBCO 丸線材を作製し、その観察結果を報告する。

## 【実験方法】

Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaCO<sub>3</sub>、CuO を混合し、YbBCO 粉末を作製した。さらに融点をより下げられるため、添加すると融点を下げること知られている Ag を YbBCO の質量に対して 10%添加した YbBCO 粉末を作製し、それぞれ X 線回折測定を行った。

作製した YbBCO 粉末を用いて、図 1 のように丸線材を作製した。実際に作製した丸線材を

図 2 に示す。作製した丸線材を熱処理した後、走査型電子顕微鏡 (SEM) による線材内部の観察を行った。また、臨界電流 ( $I_c$ ) 測定を行った。

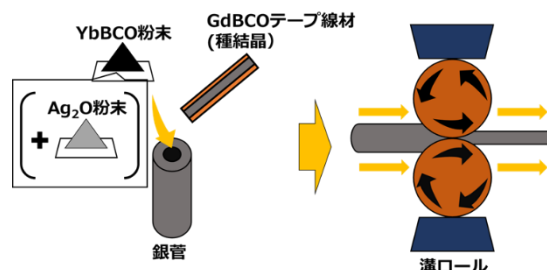


図 1. 線材の作製方法



図 2. 実際に作製した YbBCO 丸線材

## 【結果および考察】

熱処理を行った丸線材の臨界電流測定結果を図 3、図 4 に示す。図 3 および図 4 より、作製した YbBCO 丸線材の内、超伝導部分に超伝導電流は流れず、銀管部分にのみ電流が流れたことがわかる。

作製した YbBCO 粉末の X 線回折測定の結果および、SEM による丸線材の観察結果は当日報告する。

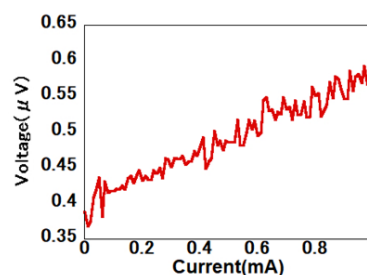


図 3. YbBCO 丸線 (熱処理有) の  $I_c$  測定結果

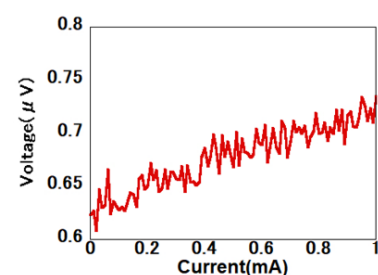


図 4. YbBCO (Ag10wt%添加) 丸線 (熱処理有) の  $I_c$  測定結果

## 【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

## テープ線材を利用した YBCO 丸線の作製と組織観察

\* 小島寛航、小澤優一朗(東海大学大学院 工学研究科) \*\* 小黒英俊(東海大学 工学部材料科学科)

### 1. 背景・目的

超伝導は電気抵抗 0 という特性を持つため、電力消費無しで大電流の通電が可能というメリットがある。冷却する必要があるというデメリットもあるが、超伝導体のなかでも  $\text{REBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$  系 (REBCO、RE:レアアース) と呼ばれる超伝導体は利用可能温度が高く、液体窒素温度での応用も考えられるため、様々な分野への応用が期待されている。ところが、結晶構造を持つ異方性から、大電流通電できる方向が制限される。これを解決するために薄膜技術を利用して結晶方向を揃えたテープ線材が開発され、市販されている。しかし、超伝導体が数 $\mu\text{m}$ の薄膜であるため剥離方向の応力に非常に弱いという問題点が存在している。そこで、REBCO の丸線開発が求められている。ところが、そもそも結晶軸を揃えた丸線材の成功例が無いことが大きな問題である。そこで、本研究ではテープ線材の超伝導層が配向されていること、剥離に弱いことを利用し、REBCO 系超伝導体を配向させることが出来ないかと考えた。本研究ではテープ線材から剥離させた超伝導層を REBCO 粉末と共に Ag 管に封入し、REBCO 粉末のみを溶融させ成長させることで REBCO 系超伝導体の丸線を作製することを目的とした。

### 2. 実験方法

$\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$  のバルク体を作製し、粉末状になるまで粉砕した。市販のフジクラ社製 GdBCO 線材から超伝導層を剥離させるため、表面の Cu 層を剥離させ、外形 10.0mm、内径 6.0mm の Ag 管の内壁に配置した。YBCO 粉末を Ag 管に充填して両端を内径と同径の Cu で蓋をした。これを外径 1.0mm になるまで線引き加工し、YBCO 丸線を作製した。作製した線材をエポキシ樹脂に埋め込んだ後に研磨を行い、光学顕微鏡で観察した。作製した線材の一部を切り出して電気炉を用いて大気中で熱処理を行い、熱処理前後での線材の内部組織を比較した。また、最終的な目標である溶融成長を行うため、Ag 管を溶融させずに内部の YBCO のみを溶融させる目的で、Ar ガスフロー雰囲気での熱処理を行った。この熱処理を行った線材についても同様に断面観察を行った。

### 3. 実験結果

図 1 に示した線引き後の YBCO 線材の内部組織の様子から Ag 管内壁に沿って線材から剥離させた Cu 層が圧延されていることを確認した。大気中で熱処理を行った試料は Ag 管が溶融していたが、図 2 に示した Ar ガスフロー雰囲気での熱処理を行った試料については、Ag 管が溶融しておらず取り出した際の Ag 管内部の様子から YBCO が溶融したような組織が観察された。

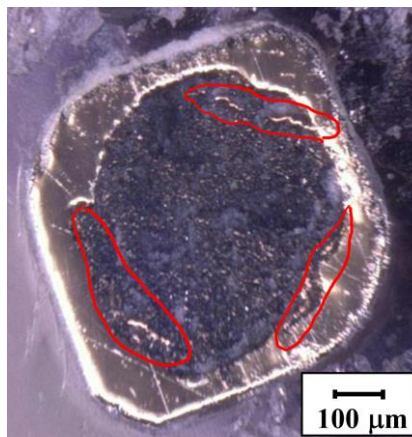


図 1 線引き後の線材断面

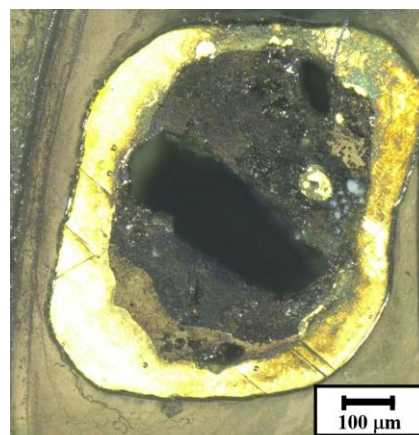


図 2 Ar ガスフロー雰囲気熱処理後の線材断面

## Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材への添加元素の原子半径の違いによる効果

\*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】

現在の超伝導の応用は、電磁石である超伝導マグネットとしての利用が非常に多い。これは、超伝導体を線材化し、コイル状に巻いてマグネットとして利用するものであり、NMR や MRI はその応用の一つである。その超伝導マグネットの中でも、Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材は 10 T 以上の超伝導マグネットに必要な不可欠な材料である。Nb<sub>3</sub>Sn 線材は、Nb もしくは Sn のサイトへの第三元素添加によって、その超伝導特性が大きく変わる事が知られている[1]。しかし、昔から超伝導特性の変化はよく調べられているが、第三元素そのものの様子、つまり、拡散の様子、反応後の状態、Nb<sub>3</sub>Sn の結晶構造のどのサイトに入っているのか、などは詳しく調べられていない。

そこで本研究では、第三元素を添加した Nb<sub>3</sub>Sn 超伝導線材を作製し、作製した線材内での添加元素の拡散の様子や役割を調べることを目的とした。今回は、Nb との置換効果を期待して、Nb と電子配置が近い、Cr と Mo を Nb<sub>3</sub>Sn に添加してその拡散の様子を調べた。

### 【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 と添加元素の混合粉末を Nb 管に詰めた。Sn の量を Cu の mol 数に対し、Sn : Cu = 9.1 : 90.9 とした。これは、Cu-Sn の化合物を作らないよう、Cu に対する Sn 固溶限度を超えないように作製する狙いがある。本研究では添加する第三元素を Cr と Mo とし、それぞれ Sn 粉末に対して Cr は 4mol%、Mo は 5mol% 添加した。作製した線材は 800°C 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 Cr を 4mol%、Mo を 5mol% 添加した Nb<sub>3</sub>Sn 線材の後方散乱電子線画像を示した。画像から、Nb<sub>3</sub>Sn 層は無添加が一番成長し、次に Mo 添加の Nb<sub>3</sub>Sn、一番成長しなかったのは Cr 添加であることが確認できた。この結果から、これらの第三元素を添加すると Nb<sub>3</sub>Sn の成長が阻害されることが分かり、元素によって阻害の効果に差があることがわかった。当日は元素分析の結果も報告する。

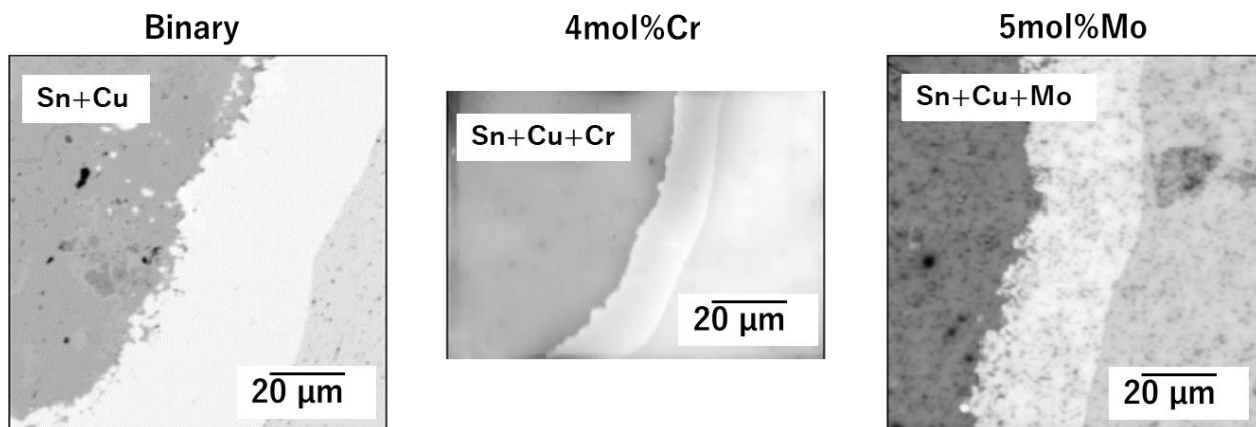


Fig. 1 Back-scattered electron images of the cross sections of binary, 4mol%Cr doped and 5mol%Mo doped Nb<sub>3</sub>Sn wires.

### 【References】

[1] M. Suenaga et al., J. Appl. Phys., Vol. 59 (1986) 840-853

## 液中プラズマ法を用いた燃料電池用 Pt 触媒の作製および評価に関する研究

\*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。

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[ $\mu$ s] 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。また、XRD 測定を用いて半値幅から Pt 粒子の粒径を導き出した。

〔結果・考察〕

図 1 に放電電圧を 4.0[kV] で作製した Pt 触媒の XRD 測定結果を示す。 $2\theta = 39^\circ, 45^\circ, 66^\circ$  にプラチナのピークが観測された。このことから、プラチナがカーボン表面上に担持されていることがわかり、XRD の測定条件から、Pt の粒径は 29[nm] であることがわかった。

図 2 に放電電圧 1.0[kV] および 4.0[kV] で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。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 6.1[A] の時に 2.0[W] であった。一方で 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 7.6[A] の時に 2.9[W] であった。作製した燃料電池を比較すると、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。

図 3 に放電電圧を 1.0[kV] および 4.0[kV] で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[m $\Omega$ ] と 74.8[m $\Omega$ ] であった。放電電圧 4.0[kV] より 1.0[kV] の方が並列抵抗成分が減少した。

液中プラズマの放電電圧を下げると Pt の粒径が低下すると考えられる。その粒径の低下はカーボン表面上に担持される Pt 粒子の単位質量当たりの比表面積を増加させる。表面積の拡大は燃料電池の触媒反応が促進し、並列抵抗成分が減少し、最大出力電力は増加する。

このことから、放電電圧の低下による最大出力電力の増加は、形成されるプラチナの粒径が低下したためと考えられる。

今後は、放電電圧に対する Pt 粒径の依存性を今後 XRD 法を用いて明らかにする。

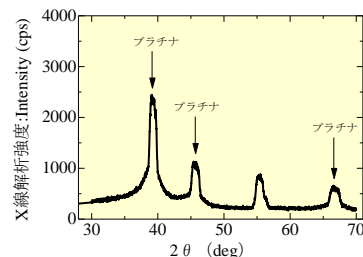


図1 本研究で作製した Pt 触媒の XRD 測定結果

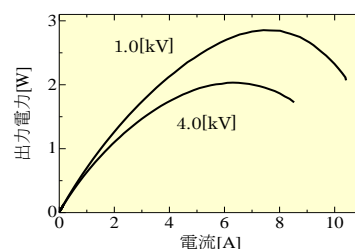


図2 放電電圧を 1.0[kV] および 4.0[kV] 印加して作製した Pt 触媒の発電特性

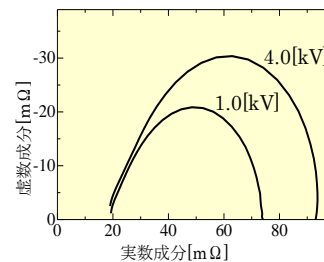


図3 放電電圧を 1.0[kV] および 4.0[kV] 印加して作製した Pt 触媒のコールプロット



## 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用触媒への応用に関する研究

\*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・目的]

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、そのような Pt 微粒子を担持するためには、比表面積が広いナノカーボンも求められている。

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広い比表面積を持つナノカーボンを作製する。また、作製したナノカーボンを担持体として、燃料電池用触媒の作製を行う。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、高電圧パルス電源に接続した。電極に電圧 4[kV]、パルス幅 2[ $\mu$ S]、周波数 30[kHz]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、IPA 中に分散したナノカーボン粒子を作製した。次に IPA 中で作製したナノカーボン分散液をフィルターに通し、IPA とナノカーボンに分離した。その後分離したナノカーボンを IPA40[mL]と純水 160[mL]を用いて洗浄した。次に、洗浄したナノカーボンを純水 40[mL]に分散させ、ナノカーボン分散液を作製した。その後、作製した分散液中に Pt 電極を設置し、分散液中でプラズマ放電処理を行うことで、分散液中のナノカーボンに Pt 触媒を担持した。

### [結果・考察]

図 2 に本研究での方法で作製した燃料電池用触媒と市販品の田中貴金属の触媒を使用した際の、固体高分子型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。開放電圧は共に約 0.8[V]であった。また、電流の増加によって固体高分子型燃料電池の出力電圧は降下した。さらに、本研究の方法で作製した燃料電池用触媒の最大電力は 102[mW/mg]であり、市販品の田中貴金属の触媒と比べると現状では約 1/4 の出力であった。

図 3 に固体高分子型燃料電池のコール・コールプロットを示す。本研究の燃料電池用触媒の並列抵抗成分は 71[m $\Omega$ ]であり、現状では田中貴金属の触媒を使用した際の約 1.5 倍であった。

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。固体高分子型燃料電池の出力が増加するためには、Pt 触媒の反応速度を増加し、並列抵抗成分を減少させる必要があると考えられる。

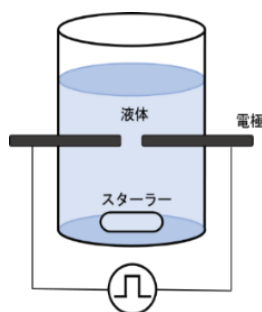


図 1 液中プラズマ装置

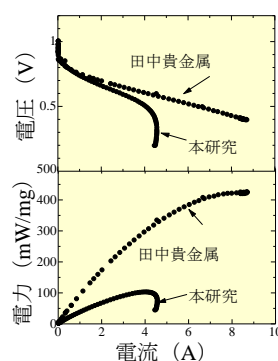


図 2 固体高分子型燃料電池の  
発電特性

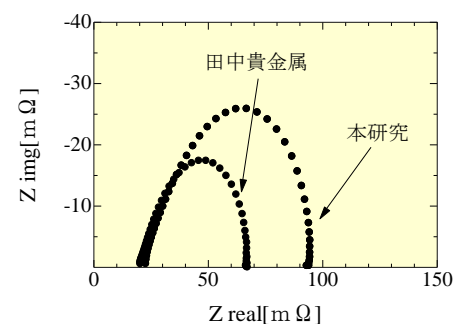


図 3 固体高分子型燃料電池の  
コール・コールプロット

## 18-8 ステンレス鋼板と炭素繊維強化熱可塑性耐熱スーパーエンジニアリングプラスチックの接着力に及ぼす電子線照射の効果

\*平井 開都(東海大学工学部精密工学科)、三浦 栄一、竹田 圭佑、志村 大夢、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(KISTEC)、\*\*内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科)

### 1. 緒言

炭素繊維強化熱硬化性エポキシ樹脂(CFRP)は高比強度なため、航空・宇宙産業をはじめ、自動車やスポーツ用品など、幅広い分野で使用されている。CFRPは成形に化学反応を伴うので、硬化に時間がかかり、非効率な生産性が課題とされている[1]。また、一度成形して硬化すると、再利用することができないので、マイクロプラスチックによる環境破壊[2]が非常に問題である。一方、高強度とまでは評価されないが、炭素繊維強化熱可塑性樹脂(CFRTP)も、化学反応を伴わず、硬化の時間を短縮でき、成形—離型の製造速度が高速であり[3]、生産量を増やし、生産コストを低くし、さらに、CFRTPは成形に再利用して成形できることから、環境負荷を圧縮することが見込まれる[1]。もし、熱可塑性樹脂にベンゼン(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)と硫黄(S)からなる耐熱性のスーパーエンジニアリングプラスチック[1]であるポリフィニレンサルファイド(PPS)を使用した場合、市場が広がり、成層圏で運行する超音速旅客機用構造材料としても決定的な役割が期待できる[4]。そこで、航空機のエンジンカバーに使用されているステンレス鋼と、このCFRTPの接着力を強化することを電子線照射で試みた。

電子線(EB)照射は高分子化合物に施すと二次電子が発生し、分子結合を開裂されることで、高分子の構造を変化することが知られている[5]。先行研究ではエポキシ樹脂(EP)を母材に用いたCFRPに均質低エネルギー電子線均質照射(HLEBI)処理を施すと、CFRPと18-8ステンレス鋼(SUS304)との界面接着性が改善され、未処理のCFRPと比較して引張せん断試験で引張せん断強さの向上が見出されている[6]。本研究ではHLEBI処理前後のCFRTPと18-8ステンレス鋼(SUS304)との接着性変化向上を目的としている。

### 2. 実験方法

ホットプレス機(IMC-185A, Imoto Machinery Co., Ltd.)を用いて、カーボンファイバー(CF)シート(TR3110M, Mitsubishi Rayon Co., Ltd.)とPPSシート(サスティールB-063, Tosoh Co., Ltd.)を573K、2MPa、1分で加圧熱処理してコンポジットしたCFRTPを電子線照射装置(Type CB250/30/20mA, Energy, Science Inc, Woburn, MA, USA, Iwasaki Electric Group Co. Ltd. Tokyo, Japan)を用いて、コンポジットしたCFRTPにHLEBI処理を4条件(5kGy, 10kGy, 15kGy, 20kGy)で行った。HLEBI処理前後の5種類のCFRTPをそれぞれ10mm×100mm×0.5mmに切り出し、CFRTP/18-8ステンレス鋼(SUS304, 0.10mm×100mm, Nilaco Co., Ltd.)との接着面積が100mm<sup>2</sup>になるように、ホットプレス機を用いて、573K、2MPa、30秒で熱圧着した。引張試験機を用いて、接着したCFRTP/18-8ステンレス鋼をせん断試験した。

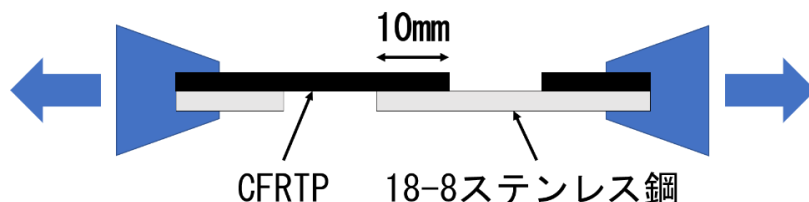


Fig.1 せん断試験 (CFRTP/18-8 ステンレス鋼)

### 3. 結果

未処理であっても接着することを見出した。さらに、特定の照射量の領域で接着力が向上することを見出した。

### 参考文献

- [1]. 平松徹：よくわかる炭素繊維コンポジット入門, (日刊工業新聞社, 2012) 38-223.
- [2]. 鈴木良典：海洋プラスチック汚染の現状と対策, (2020)4-11.
- [3]. 社団法人日本機械工業連合会, 財団法人次世代金属・複合材料研究開発協会：平成20年度熱可塑性樹脂複合材料の航空機分野への適用に関する調査報告書(平成21年3月)4.
- [4]. 一般財団法人日本航空機開発協会：超高速輸送機実用化開発調査(平成27年3月26日)20.
- [5]. 奥村康之：電子線照射装置の工業利用への展開(2016)1-4.
- [6]. A.Minegishi, T.Okada, M.C.Faudree, Y.Nishi: Tensile Shear Strength Improvement of 18-8 Stainless Steel/CFRP Joint Irradiated by Electron Beam Prior to Lamination Assembly and Hot-Pressing(2015)1-5.

## 電子線照射侵入深さの傾斜機能特性を利用した炭素繊維強化プラスチックの強靱化

\*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)、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から課題とされている。さらに、最近ではリサイクルが困難な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おり、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、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との濡れ性が悪いと、界面接着強度が低く、繊維の引抜けが容易で、複合材料としての強度が十分に発揮することが出来ない。

電子線(EB)の照射を高分子材料に行うことで原子間共有結合を切断し、高分子構造が変化し、過剰な照射量では、高分子材料を劣化させる要因となる事が広く知られている。低エネルギー条件、且つ少ない線量の電子線照射[3]は終端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も有効であることが報告されている。また、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)の処理を施す先行研究では、母材との界面接着性が改良され、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[4]。

電子線は照射時に電場によって加速され、そのエネルギーにより照射物内部へと侵入する。電場の電圧を変更することにより電子線の侵入深さを制御できる。それを利用することでCFRPの表面は硬化し、内部は延性のある傾斜機能を備えた刀のような強靱性を示すCFRPができると考えた。そこで本研究では電子線による材料内部に及ぼす影響の観察を目的とし、電子線がCFRPに侵入深さの違いによる物性変化を強度試験の結果をもとに検討する。

### 2. 実験方法

本研究では母材にPPを用いたCFRTPを作製した。PPシート4枚とCF3枚を交互に積層させ300℃、4MPa、5分間の加圧熱処理を行い複合化させる。複合化させた作製した試料の様子をFig.1に示す。

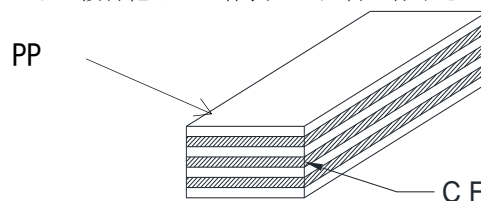


Fig. 1 CFRTP 模式図

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、EB照射処理を行う。電子線の侵入深さ  $D_{th}$  は以下の式(1)によって算出する。[5]

$$D_{th} = 66.7V^{5/3}/\rho \quad (1)$$

ここでの  $V$  は加速電圧[kV]、 $\rho$  は密度[kg/m<sup>3</sup>]を表している。作製した試料はシャルピー衝撃試験と引張試験によって物性変化を検討する。

### 3. 結果

最適電子線照射条件で傾斜機能特性を示す強靱なCFRPを作成することに成功した。

#### 参考文献

- [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.
- [4] S. Kitagawa, H. Kimura, S. Takase, N. Tsuyuki, D. Kitahara, A. Takahashi, M.C. Faudree, H.T. Uchida, A. Tonegawa, M. Kanda, N. Inoue, S. Kaneko, T. Endo, M. Salvia, Y. Nishi; *Trans. Mater. Resear. Soc. Jpn.* **43** (2018) 125-128.
- [5] R. Christenhusz and L. Reimer: *Z. Angew. Phys.*, **23** (1967) 396-404.

## 避雷用銅板と炭素繊維強化スーパーエンジニアリングプラスチックの接着性に関する研究

\*志村大夢、三浦 栄一、竹田 圭佑、木村 英樹(東海大学大学院工学研究科)、土屋 寛太郎(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(KISTEC)、\*\*内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科)

### 1. 緒言

炭素繊維強化プラスチック(CFRP)は、熱硬化性樹脂を母材にして、軽くて硬い炭素繊維(CF)を強化材とした複合材料であり、軽量、高強度であるため、航空・宇宙産業をはじめ自動車やスポーツ用品など、幅広い分野で使用されている。CFRPは落雷を受けると破壊される。そのため、CFRPを素材として使用し、落雷の可能性が高い飛行機や風力発電ブレードにとっては大きな問題である。このことから電気伝導度の高い金属とCFRPを接着させることでCFRPの伝導性を高め、落雷での機体の破壊を防ぐ効果が期待されている。銅は高い伝導性を示し、加工性の高さから家電製品や車、建築物など様々な製品に使用されている。一方、CFRPの母材は一般的に熱硬化性のエポキシ樹脂(EP)が使われている。EPは低粘性の液体状態でCFとの含浸性が高いので接着性が良く、硬化した樹脂は硬くて耐熱性が高いとされている。しかし、EPは成形に化学反応を伴うので、硬化に時間がかかり、非効率な生産性が課題とされている。

<sup>[1]</sup> 一方、加熱すると融解する熱可塑性樹脂を母材とする炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)は、成形に化学反応を伴わず、硬化の時間を短縮でき、再利用して成形できることから、生産量を増やし、生産コストを低くすることが見込まれる。

先行研究ではCuとポリウレタン(PU)の積層シートを作成するにあたり、CuとPuに電子線照射(HLEBI)処理をホットプレス前にすることで接着界面での接着性が高まった。<sup>[2]</sup>さらに、本研究ではCFRTPの母材にベンゼン(C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>)と硫黄(S)からなるスーパーエンジニアリングプラスチック(スーパーエンプラ)であり、<sup>[1]</sup>融点が275℃と高く耐熱性が高い、これは一般的にCFRPに使用されるEPの融点(150℃~200℃)よりも高い、また、難燃性、力学的特性、寸法安定性、耐薬品性に優れたポリフィニレンサルファイド(PPS)を使用したCFRTPとCu板のHLEBI処理による接着力向上の照射量範囲の設定確認することを目的とする。

### 2. 実験方法

ホットプレス機(IMC-185A, Imoto Machinery Co., Ltd.)を用いて、CFシート(TR3110M, Mitsubishi Rayon Co., Ltd.)とPPSシート(サスティールB-063, Tosoh Co., Ltd.)を300℃, 2MPa, 3分間で加圧熱処理してコンポジットしたCFRTPを電子線照射装置(Type CB250/30/20mA, Energy, Science Inc, Woburn, MA, USA, Iwasaki Electric Group Co. Ltd. Tokyo, Japan)を用いて、コンポジットしたCFRTPにHLEBI処理(3条件, 43 kGy, 129 kGy, 215 kGy)を行った。HLEBI処理前後のCFRTPをそれぞれ10mm×100mmに切り出したCFRTP(10mm×100mm×0.25mm)とCu(10mm×120mm×1.0mm, Nilaco Co., Ltd.)を接着面積が100mm<sup>2</sup>になるように、ホットプレス機を用いて、300℃, 圧力, 30秒で圧着した。引張試験機(型番, Shimazu Co., Ltd.)を用いて、接着したCu/CFRTPを引張試験した。

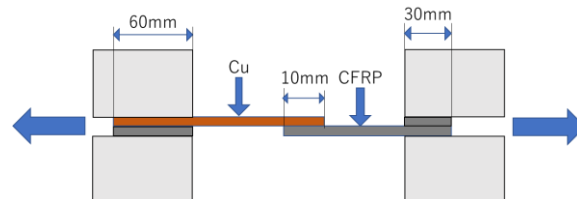


Fig.1 引張試験の概略図

### 3. 結果

未処理であっても僅かに接着することを見出した。さらに、特定の照射量の領域で接着力が向上することを見出した。

#### 参考文献

- [1] 平松徹：よくわかる炭素繊維コンポジット入門，(日刊工業新聞社，2012) 38-223。  
 [2] High Adhesive Force between Laminated Sheets of Titanium and Polyurethane Improved by Homogeneous Low Energy Electron Beam Irradiation Prior to Hot-Press: Arata Yagi, Chisato Kubo, Masae Kanda, Itaru Jinbo, Yoshitake Nishi, Materials Transactions, 57(3) (2016)368-372.

## Ni 中の水素透過に関する研究

\*松本陸輝（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、尾高弘紀（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、\*\*内田ヘルムート貴大（東海大学大学院工学研究科）

## 【緒言】

燃料電池として用いる事で変換効率が高いエネルギー源として、水素エネルギーが注目されている。燃料電池は作動中においては二酸化炭素や窒素酸化物の放出がないことから、都市環境への意識の高まりと共に、自動車向けの用途が進んでいる。トヨタの MIRAI[1]などはその代表例であり、水素ステーションの普及についても2018年4月時点で102か所の建設が終了しており、今後も普及が進む見込みである[1]。その一方で、水素は他分野での応用も期待されている。例えば、透明基板上に薄膜で作製した金属については、人間の目を見たときに鏡の状態であった金属薄膜が、水素吸蔵に伴い透明な状態に変化する現象が知られている[2]。逆に、水素を放出させることで再びイオン性結合から金属性の結合に戻る事から、「鏡」の状態に戻すことが出来るスイッチャブルミラーとしての実用化も期待されている。

しかし、スイッチャブルミラーには大きな課題点がある。それは透明/鏡状態のスイッチングの速さと共に、酸化や腐食の影響を受けやすい元素が主成分である事である。そのため、本研究では水素が金属内を透過する速さ、つまり拡散係数を求めることでスイッチャブルミラーに適している材料の選定基準の1つになる。今回は被覆材としても広く用いられるニッケルの板材に対し、水素の透過性を評価する。

## 【実験方法】

本研究ではニラコ社製の厚さ0.1mmの純度99.9wt.%のNi板を使用した。また85wt.%のリン酸と85wt.%のグリセリンを体積比1:2の比率で混合し純度99.95%のArガスで予め2時間以上バブリング処理を施した溶液を用いた。電極に対して陰極に試料、陽極に対抗電極である金ワイヤーを接続した。標準参照電極にはAg/AgCl標準参照電極を用い水素透過実験を行った。

## 【実験結果・考察】

Fig.1、は横軸に時間[s]をとり縦軸にポテンシャル[V]をとりポテンシャルの時間変化を表したものである。30000[s]あたりから output 側のポテンシャルが上がっている。Fig.1 から実験の目的であった拡散係数を求めた。拡散係数を  $D[m^2/s]$  として厚さを  $d[m]$ 、遅れ時間を  $t[s]$  とすると式(1)で拡散係数を求めることができる。

$$D = \frac{d^2}{6t} [m^2/s] \cdots (1)$$

また、今回は最後に-2.0[V]の条件で流した水素の量が全体で流した水素の量と比較してとても多いので最後に流した水素が output 側に拡散したと考えて遅れ時間のスタートは-2.0[V]の条件で流したときスタート地点つまり24647[s]とした。さらに、ゴール地点は Fig.1 のポテンシャルが立ち上がっている部分の接線と平衡電位が交わったところ31603[s]とした。(1)式から拡散係数は

$$D = 2.40 \times 10^{-13} [m^2/s]$$

先行研究での室温下における Ni の拡散係数は

$$D = 6 \times 10^{-13} [m^2/s]$$

である[2]。今回の実験で得た拡散係数の値と先行研究から予測される拡散係数の値を比較すると今回の実験の値は先行研究から予測される値のおおよそ2分の1程度であった。考えられる理由として、水素透過法による拡散係数の評価は表面を経由する現象であるため、表面が部分的に酸化している等により、水素の表面通過に際して追加の活性化エネルギーが存在する可能性が考えられる。追加の活性化エネルギーが存在することにより見かけの拡散係数が低下する現象は広く知られている。また、見かけの拡散係数が小さく得られたもう一つの要因として、今回の試料は冷間加工されたものを利用したが、水素濃度が低く転位密度が高い材料の場合は水素原子がトラップされるため、試料の透過先の側で検出されなかった可能性がある。このため次回の透過実験では、酸化を防ぐために Pd を被覆した試料で拡散係数を計測することや、予め熱処理を施し転位密度を低下させた試料に対し同様の実験を行い、さらに TDS を用いて熱処理の効果を評価する必要があるものとする。

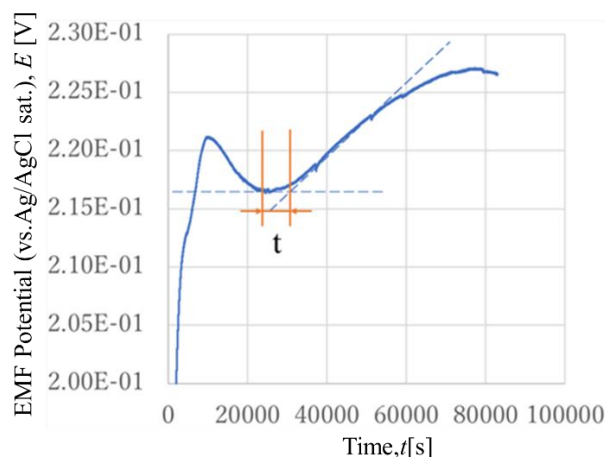


Fig.1 電気化学水素ローディング前後のポテンシャルの時間変化

## 【参考文献】

- [1] 広瀬 雄彦 水素元年-新しいエネルギー社会の構築に向けて-持続可能な社会に向けての新たな挑戦-燃料電池車の現状と未来 2016年21巻7号 p. 7\_64-7\_69
- [2] J. N. Huiberts, R. Griessen, J. H. Rector, R.J. Wijngaarden, J.P. Dekker, D.G. de Groot, N.J. Koeman, "Yttrium and Lanthanum hydride films with switchable optical properties", Nature, 380, (1996), 231.
- [3] D. Aratntes, X.Y. Huang, C. Martean, R. Kirchheim "HYDROGEN DIFFUSION IN NANOCRYSTALLINE NICKEL" Seestr.92.D-7000Sluttgart 10, Germany

## PV 発電システムにおける需要対応型 MPPT 制御の効果

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

久邇之明 (神奈川工科大学電気電子情報工学科) 柳生大成 (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. 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 制御を提案した<sup>(1)</sup>。そこで、今回はこの制御方式の効果について検討を行った。

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と考えられる。

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プ回路を用いている。チョップ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。

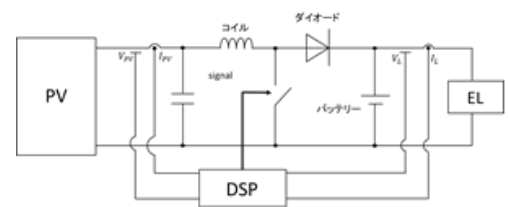


図 1 需要対応型 MPPT 制御システム

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。

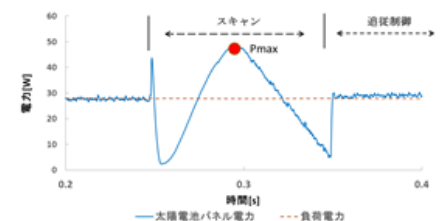
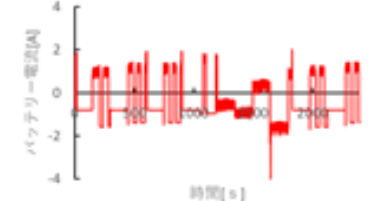
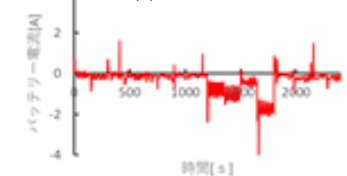


図 2 スキャン時の動作波形

次に、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。1 時間で 20~110[W] 間で負荷電力を変化させた。従来の MPPT 制御と需要対応型 MPPT 制御のバッテリー電流波形をそれぞれ図 3 (a) と (b) に示す。同図より本実験条件においてバッテリー充放電が減少していることが確認できる。



(a)従来の MPPT 制御



(b)需要対応型 MPPT 制御

図 3 バッテリーの充放電電流

### 4. まとめ

スキャン法を用いて、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 制御の開発を行った。その結果として負荷電力に対して、PV パネル電力が追従でき、バッテリーの充放電を減らせることが確認できた。

文献：(1) 2019 SAS Symposium, No. B-3

固体高分子型燃料電池の出力特性改善に関する検討

\*遠藤琢磨(神奈川県立大学電気電子情報工学科) Sumon(神奈川県立大学大学院工学研究科)

\*\*板子一隆(神奈川県立大学大学院工学研究科)

1. まえがき 燃料電池は水素を使用して酸素と合成することで電気を生み出している。そのために使用する酸素は空気から取り込む形が一般的である。燃料電池の拡散損失は電流密度が高い時に顕著に表れる損失で酸素の濃度不足が起因となっている。今回使用する固体高分子型燃料電池では、この拡散損失による電力の損失は非常に大きいものでこれを改善することは燃料電池の電力ピーク点を大きくあげることにつながる。そこで今回は燃料電池に直接酸素を供給することでこの拡散損失を改善できると考え、その効果について検討した。

2. シミュレーションによる効果の検討 図1に燃料電池のV-I特性の概念図を示す。まず、対象の固体高分子型燃料電池からV-Iデータを取得する。そのデータより燃料電池の理論式のパラメータの同定を行った。そこから拡散損失を除いた場合について、どの程度の改善効果が発生するか検討する。図2にシミュレーションの結果を示す。同図より、拡散損失を除いた場合は除く前に比べ0.2[A/cm<sup>2</sup>]時での出力電圧が12%上昇することが確認された。

3. 実際のFCへの酸素供給 図3に酸素を使用した場合のFCと空気を使用した場合のFCのV-I特性、P-I特性、図4にζ-I特性を示す。実験の結果、10[A]時では出力電圧が12.5%上昇した。出力燃料比ζ[W・min/L]は10[A]時には空気使用時の91[W・min/L]に対して酸素使用時は102[W・min/L]となった。また20[A]時にも酸素使用時は97[W・min/L]と10[A]時の空気使用時よりも高い出力燃料比であった。

4. 考察 以上より、シミュレーション結果と実験結果を比較したところ出力電圧は同程度改善された。また燃料出力比ζに関してグラフがそれぞれのV-I特性と非常に近いものとなった。その理由として燃料出力比ζは以下の式で表される。

$$\zeta = \frac{P_{FC}[W]}{H_{2FC}[L/min] + H_{2O}[L/min]}$$

ここでH<sub>2FC</sub>は1分間あたりに発電に使用された水素の量、H<sub>2O</sub>は一分間あたりにクロスオーバーとして失われた水素の量、P<sub>FC</sub>は燃料電池の出力電力である。この式を電流を用いて表すと以下ようになる。

$$\zeta = \frac{V_{FC} \cdot I_{FC}}{K(I_{FC} + I_{FCO})}$$

ここでV<sub>FC</sub>、I<sub>FC</sub>は燃料電池の電圧、電流でありI<sub>FCO</sub>はクロスオーバーに等価な電流である。またKは水素消費と電流の比例定数であり、ファラデーの法則に基づく定数である。

この式よりI<sub>FC</sub>がI<sub>FCO</sub>より十分大きい領域ではI<sub>FCO</sub>が無視できるため、ζは定数KとV<sub>FC</sub>のみで表現できる。このことからV-I特性に近いものになったと考えられる。そのため、I<sub>FC</sub>が減少するにつれてζが増加する。またI<sub>FC</sub>がI<sub>FCO</sub>より十分小さい領域ではI<sub>FC</sub>が減少するにつれてζが減少することがわかる。このことから燃料出力比ζはピークをもつことがわかる。

5. まとめ 以上から燃料電池に酸素を使用すると拡散損失が低減され出力電圧が増加し、出力燃料比も改善されることが明らかとなった。

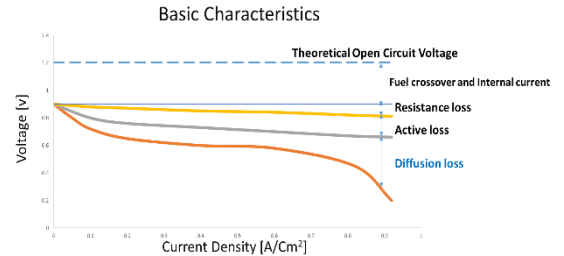


図1 燃料電池のV-I特性概念図

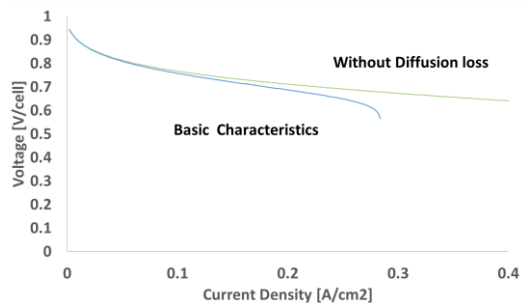


図2 シミュレーションによるV-I特性

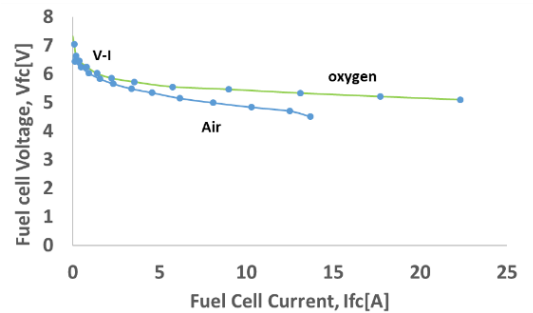


図3 空気及び酸素使用時のV-I特性、P-I特性

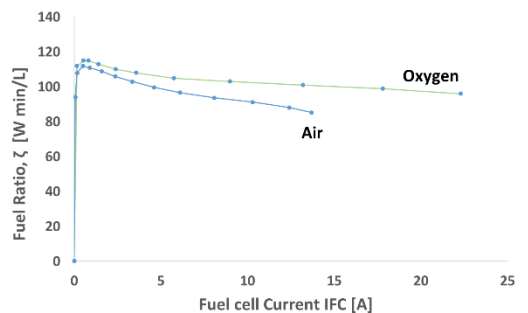


図4 空気及び酸素使用時のζ-I特性

PSIMによるアクティブ PV アレイの効果の検討

\*徐川翔(神奈川工科大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、

\*\*指導教員 板子一隆(神奈川工科大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)

1.はじめに 2枚の太陽電池で構成されたストリングを図1に示す。この構造では、ストリングに影がある場合、従来のMPPT制御(山登り法)では、トリング内に複数の最大電力ポイントが存在するため、システムに最大電力( $P_{max1}+P_{max2}$ )を出力させることができない。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、実験室レベルでの効果を検証した<sup>[1]</sup>。今回は、PSIMを用いて太陽電池パネルを6枚使用したアレイでのシミュレーションを行い、提案システムの有効性を検討したので以下に報告する。

2.PVアレイ構成 従来のPVアレイを図3に示す。新しく提案したアクティブPVアレイを図4に示す。各パネルの出力側にDC-DCコンバーターが接続され、それぞれのコンバーター出力端子が直列に接続され、パワーコンディショナ(PCS: Power Conditioning System)に接続される。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  $V_{PCSO}$  を設定しておく。この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。

$$V_{refj} = \frac{V_{PCS}}{V_{PCSO}} \cdot V_{OPj} = mV_{OPj} \quad (j = 1,2,3)$$

ここで、 $V_{PCS}$  は PCS の入力電圧、 $V_{OPj}$  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。各ユニットは(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  $V_{PCSO}$  で1つ現れる。従って、各ストリングの最適動作電圧が  $V_{PCSO}$  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.シミュレーション・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の従来アレイと提案アレイを用い、システムの出力電力の比較を行った。図5に0.16秒で1枚のパネルに影(日射強度90%低下)を付加したときの両システムのアレイ出力電力を示す。影が存在すると2つのシステムの取得電力が減少するが、スキャン後に提案システムの電力が大幅に増加していることが分かる。すなわち、従来システムでは、複数の電力ピークによって最大電力点で動作出来ていないが、提案システムは各パネルの最大電力を取り出せていることが確認できる。出力電力を比較すると、従来方式(赤線)は200W、提案方式(青線)は330Wであり従来方式の1.65倍であることが確認された。

4.まとめ 本シミュレーション条件では、提案システムは従来システムに比べて1.65倍の電力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された。今後は、この提案システムを構築する予定である。

参考文献: [1]2019 SAS Symposium, No.B-7

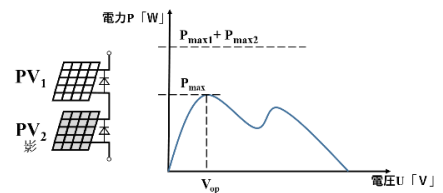


図1 従来 PV システムの概念図

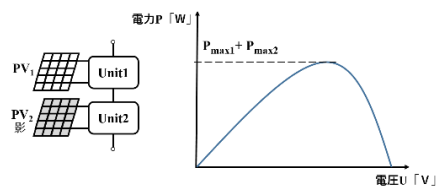


図2 提案 PV システムの概念図

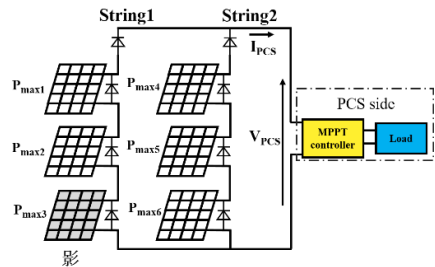


図3 従来 PV アレイの構成

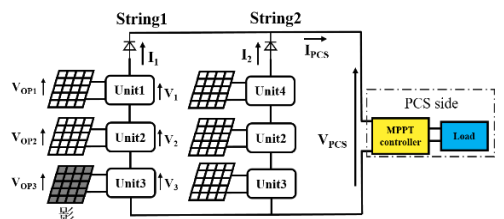


図4 提案 PV アレイの構成

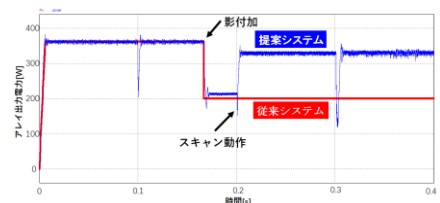


図5 発電電力の推移



PV 発電システムにおける系統側高調波電流低減のための PCCS 法

\* 藤井陸(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

太陽光発電用のパワーコンディショナ(PCS)は太陽電池アレイから得た直流電力を交流電力に変換する。そのときに、交流出力の歪みにより高調波電流が基本波の整数倍の周波数成分として発生し、配電系統に様々な障害を引き起こす<sup>(1)</sup>。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。本論文は PV 発電システムにおける単相インバータのための新しいピーク電流制御スイッチング (PCCS) 法を提案する。この方法は、一定のスイッチング周波数でピーク電流と基準電流の差を最小にする。本論文では、提案手法の原理とシミュレーション結果について述べている。この結果から、提案したスイッチング方式が有効であることが明らかとなったので以下に報告する。

2. PCCS 法

この方法は、スイッチング周波数が一定であるためフィルタ設計が簡素化され、ひとつの PI コントローラにより応答が速くなる。原理的にピーク電流と基準電流の差を最小にするため高調波電流が低減される。図 1 に単相電圧形フルブリッジインバータを示す。この図では、 $S_1, S_4$ がオンのときをモード 1 とし、 $S_2, S_3$ がオンのときをモード 2 とする。動作モードはスイッチング周波数 $f_s$ で交互にスイッチのオンとオフにより切り替えられる。

図 2 に PCCS 法の電流波形の概念図を示す。モード1のとき、電流が上昇する。 $t = t_1$ でモード2となり、電流が減少する。比率 $m(t_1/T_s)$ は、電流の誤差 $(i_{N1} - i_{Nref})$ と $(i_{N2} - i_{Nref})$ の二乗が最小になるように決定される。

3. 比率 $m$

誤差関数 $f(m)$ を以下に定義する。

$$f(m) = (i_{N1} - i_{Nref})^2 + (i_{N2} - i_{Nref})^2 \tag{1}$$

$$f'(m) = \frac{d}{dm} \{ (i_{N1} - i_{Nref})^2 + (i_{N2} - i_{Nref})^2 \} = 0 \tag{2}$$

(6)式から比率 $m$ を得る。

$$m = \frac{\alpha\beta + \gamma\delta}{\beta^2 + \delta^2} \quad (0 \leq m \leq 1.0) \tag{3}$$

ここで、 $\alpha = i_{Nref} - i_{N0}$  ,  $\beta = \frac{V_D + V_N}{L_N} T_s$  ,  $\gamma = \alpha + \frac{V_D - V_N}{L_N} T_s$  ,  $\delta = \frac{2V_D}{L_N} T_s$

$$\text{また、} f''(m) = 2(\beta^2 + \delta^2) > 0 \tag{4}$$

$m$  を(3)式により設定することでPCCSを実現できる。

4. 結果とまとめ

以下の結果は、線間電圧 $V_N = 200V$  (rms)、スイッチング周波数 $f_s = 20kHz$ 、 $L_N = 1.8mH$ 、入力電力= 5kW、 $V_{in} = 300V$ を条件とした。図3は、定常状態での $i_N$ 、 $V_N$ および $V_{in}$ の波形を示している。これらの図は、 $i_N$ が正弦波状に形成され、スイッチングに基づく高調波電流が減少していることを確認できる。図4は、正規化された $i_N$ の高調波電流を示している。この図から、高調波成分はスイッチング周波数の整数倍付近で発生していることが確認できる。これにより、フィルタの設計が簡素化されると考えられる。

以上より、提案したスイッチング方式が有効であることが明らかとなった。

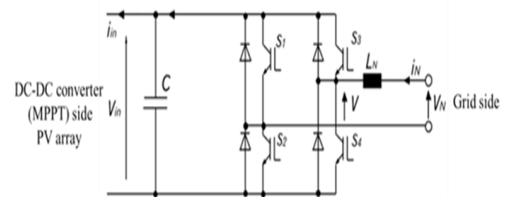


図1. 単相電圧形フルブリッジインバータ

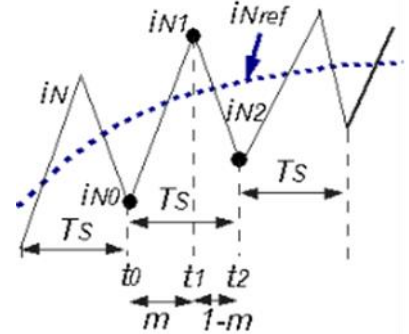


図 2. PCCS 法の波形概念図

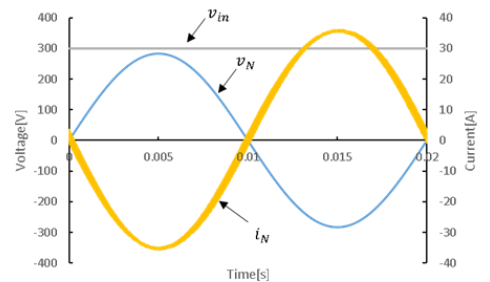


図 3. 定常状態の各部波形(入力電力 5kW)

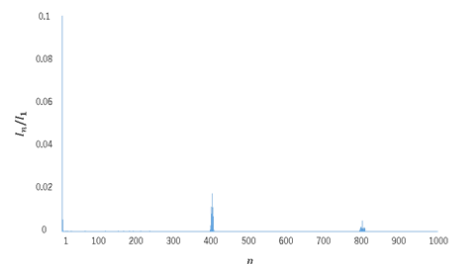


図 4. 正規化された $i_N$ の高調波電流

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

## 1. 緒言

本研究では、LaNi<sub>5</sub> による低温化での CO<sub>2</sub> メタン化反応について、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下で利用可能なメタン化触媒の探索に繋げることを目的とする。

## 2. 実験方法

雰囲気制御可能なボールミル容器内に粒径を整えた LaNi<sub>5</sub> 粉末(JSW, 99.9%)を投入し、CO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub> を 1:1 体積比となるように充填した後、振動型ボールミル(日新技研 スーパーミスニ NEV-MA8)を用いて振動数 11.7 Hz にてボールミリングを行った。経過時間ごとのボールミリング内のポット内のガス組成をガスクロマトグラフ (Shimadzu GC-14B)を用いてその場分析を行い、また、ボールミリング中のポット内のガス圧力分析について、ジーベルツ装置を用いて測定した。その後、実験に用いた試料に対して SEM、EDX、XRD、XPS を用いて分析を行った。

## 3. 実験結果

Fig. 1 にボールミリング経過時間ごとのガス組成分析の結果を示す。3時間のボールミリングによりメタンの生成を確認した。24時間のボールミリングにより CO<sub>2</sub> のピークの消失を確認した。さらに 200時間追加でボールミリングを行ったところ、CO<sub>2</sub> のピーク消失後も CH<sub>4</sub> の生成を確認した。Fig. 2 にポット内のガス圧力分析の結果を示す。ガス圧力分析の結果より、ミリング開始 3 時間で圧力が急減し、2 時間から 4 時間の際に一時的に圧力が増加することが明らかとなった。その後、20 時間を境に圧力が一定値に収束することが確認された。

20 時間ボールミリングを行った試料と 220 時間ボールミリングを行った試料に対して XPS を用いて分析を行った。XPS 測定の結果より両試料とも最表面では La<sub>2</sub>(CO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> が形成されており、深さ方向では La(OH)<sub>3</sub> が形成されていることが明らかとなった。

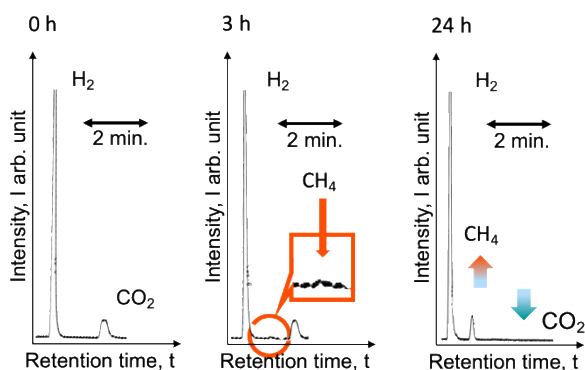


Fig. 1 ボールミリング経過時間毎のガス組成分析結果

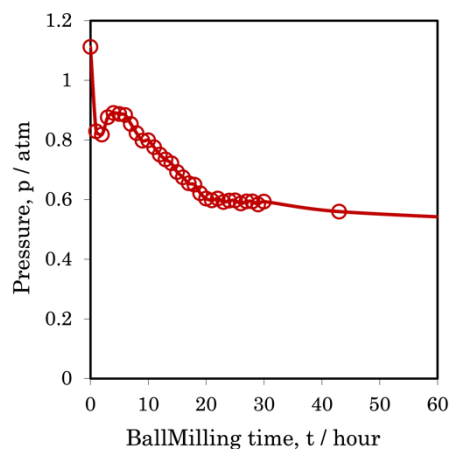


Fig. 2 ボールミリング中のガス圧力分析結果

## 負荷抵抗の時間変動に対する熱音響発電の応答性

\*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

産業における排熱の約7割は回収されず、未利用熱エネルギーとして捨てられる。熱音響発電はこうした熱を回収する技術の一つであるが、現在、これを最大電力で運転するための制御手法は十分検証されいるとは言えない。そこで本研究では、熱音響発電における最大電力点追従制御(MPPT制御)の確立を目的としている。ここで、過去の実験で得られた、時間に対する熱音響エンジンの温度変化と発電機の出力開放電圧の変化を Fig. 1 に示す。熱音響発電では熱を音波に変換し、それを動力としてリニア発電機を駆動するが、この図より熱音響機関の温度状態で発電機の出力が変動することが分かる。また別の実験では、負荷抵抗の値によって熱音響機関の温度状態が変化することも確認しているため、負荷と熱音響機関は相互に作用することが予測される。よって、本発表では、負荷抵抗の変動に対する様々な要素の過渡的な変化について調査した結果を報告する。

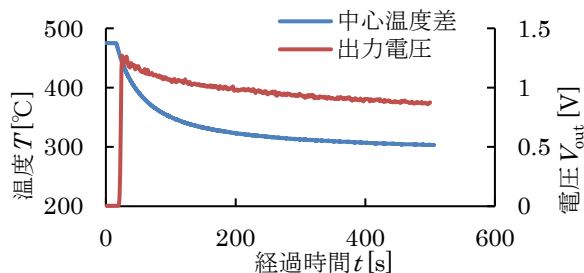


Fig. 1 熱音響エンジンの温度と出力電圧の変化

### 2. 実験方法

実験の構成を Fig. 2 に示す。リニア発電機としてはウーファスピーカ (Fostex 社, FW108N) を、負荷抵抗にはカーボン抵抗を使用した。また負荷抵抗と発電機の間にはパワーメータ (HIOKI 社, PW3335) を挿入し、電圧、電力、周波数などを測定した。ループ管の長さ  $L_L$  を 6050 mm、共鳴管の長さ  $L_R$  を 1450 mm とし、どちらも内径 40 mm の塩化ビニルパイプによって構成した。このパイプには内部気体の温度を測定するための穴を開け、熱電対を挿入してテープにより固定している(挿入位置は図中赤丸で示した)。熱音響エンジン内部の蓄熱器に熱の差を与えるため、エンジン高温側に巻き付けたシースヒーターに 300 W の電力を印加し、低温側にはチラーで冷却した水を循環させている。

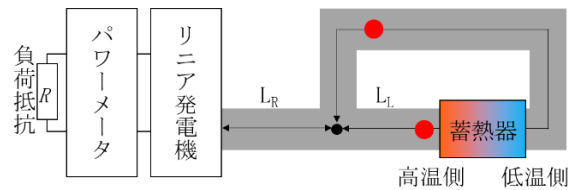


Fig. 2 実験の構成

### 3. 実験結果・考察

Figure 3 は、時間に対する負荷抵抗の設定と出力電力の変化を表したグラフである。経過時間に対して段階的に減少させた抵抗値に対し、電力は基本的には山なりのカーブを描き、約 60  $\Omega$  において最大電力 0.27 W となることが分かる。これにより、MPPT 制御を行うための電力ピークの大きさを確認することができた。ただし、最大電力点付近における発電機動作が安定していないことから、電力の瞬時値を参照する制御では最大電力点の追従が難しいと考えられる。なお、図中に定期的に表れる瞬間的な電力ピークは、抵抗値を変える際に手動で切り替えていたことに起因し、抵抗値の断続している部分は一時的に負荷が開放状態となっている。

また、抵抗値が小さいほど蓄熱器高温側近傍の管内温度が低くなることが確認された。これは熱音響エンジンから発振される音波の強度によって蓄熱器からの熱の伝達に変化しているためであると考えられる。この振る舞いは、熱音響発電の動作状態を簡便に把握する手段になる可能性がある。

発表においては、過渡状態における発電の様子や、熱音響の状態について等を含めて報告する。

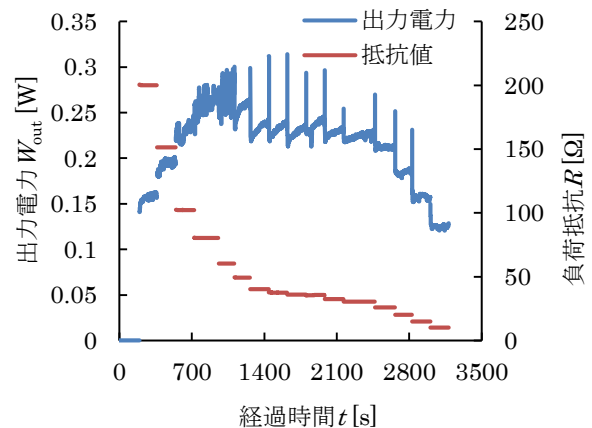


Fig. 3 経過時間に対する負荷抵抗設定と出力電力

## 小型水素ロータリーエンジン内部の数値流体解析に及ぼす ローター—ハウジング間のギャップの影響

\*鈴木僚(東海大学工学研究科機械工学専攻) \*\*神崎昌郎(東海大学工学部機械工学科)

### 1. 緒言

本研究室では、水素を燃料とした場合でも異常燃焼を起こしにくいロータリーエンジン (RE) を用いて環境負荷の小さい動力源の開発を目指している。現在、20cc 水素ロータリーエンジン (HRE) を用いて研究を行っており、HRE の開発に向けて燃焼の不安定性が課題となっている。

現在、燃焼の安定性に影響を与える要因の一つである HRE 内部における水素と空気の流動状態を解明することを目指し、Fluent を用いて数値流体解析を行っている。現状の解析ではダイナミックメッシュを用いており、その際に移動物体であるローターと静止物体であるローターハウジングとの間に隙間 (ギャップ) を設けてローターの動きを再現する必要がある。そこで、HRE 内部の数値流体解析手法の確立を目的に、このギャップを変更し数値流体解析可能な最小ギャップを明らかにすることとした。その後、RE 内部の流動可視化実験を行い、解析可能な最小ギャップにおける数値解析結果と流動可視化結果を比較することで RE 内部における数値流体解析手法の妥当性を評価した。

### 2. 実験方法および実験結果

Fig.1 に HRE の解析モデルを示す。本解析では、20cc RE の各作動室および 20cc RE の吸排気口を模擬し、ギャップを 0.02 ~ 0.09 mm の範囲で 0.01 mm ずつ変更して解析可能な最小ギャップの検討を行った。格子サイズはすべて 0.2 mm とし、いずれの解析モデルにおいても格子数は約 75000 個となった。解析時間はローターがローターハウジング内を 1 周する 12000 s とした。ギャップ 0.03 mm 以上とした場合には、解析時間 12000 s まで解析を実行することが可能であった。このことから、今回設定した解析格子条件および解析条件における解析可能な最小ギャップは 0.03 mm であった。次に、ローターハウジングおよびフロントハウジングをアクリル樹脂製にすることで、RE 内部にレーザを照射可能とし、白煙を用いて RE 内部の空気流動を可視化した。数値流体解析と同様に供給流量は 250 cc/min とし、回転数は 100 rpm とした。Fig.2 に数値流体解析結果と可視化結果の比較を示す。数値流体解析結果は解析時間 5000 s の場合の結果を示し、可視化結果は数値流体解析結果と同じローター位置での結果である。これらの結果を比較して、吸気口から流入した空気の作動室全体に広がり回転方向へ流れる流動、ローターの壁面に沿って回転方向へ流れていく流動が同様であるため、数値流体解析結果は妥当と判断された。

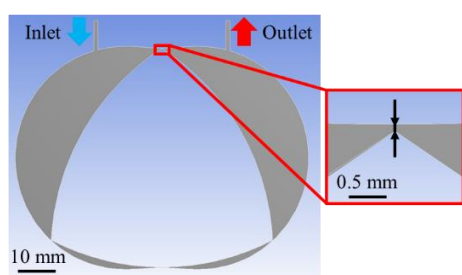


Fig.1 Analysis model of HRE

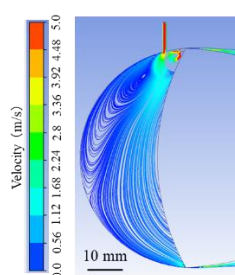


Fig.2 Comparison of flow in numerical fluid analysis result and visualization result

### 3. 結言

本研究では RE 内部における数値流体解析手法の確立を目的に、数値流体解析可能な最小ギャップの把握および数値流体解析結果と可視化実験結果の比較を行った。その結果、数値流体解析可能な最小ギャップは 0.03 mm であった。また、流線の形成および渦の発生等が同様であったことから RE 内部の数値流体解析手法の妥当性が得られた。

## 圧電振動発電における金属材料の比較

\*土屋 明花(東海大学工学部精密工学科)、\*\*土屋 寛太郎(精密工学科)、内田 ヘルムート貴大(精密工学科)  
森山 裕幸(動力機械工学科)、岩森 暁(機械工学科)

### 緒言

現在エネルギーの有効活用の観点から、環境発電分野において様々な研究が行われている。その中でも、従来は騒音として扱われていた音エネルギーの有効活用について著者らは着目しており、板の振動特性によって発電特性が大きく変わることが分かっている<sup>(1)</sup>。本実験では、材質変化によってどのような発電特性を示すかについて検討を行った。

### 実験方法

Fig. 1 は実験装置の概略を示したものである。フランジに挟んだ円板を加振機によって加振し、加振力は1Nで一定とし、1Nに満たない場合は加振機の最大入力電流である2Aを一定とした。加振周波数は150～2000Hzまで50Hzずつ変化させて計測した。尚、この際の円板の半径は108mmであり、板厚は3mmである。円板の材質はアルミニウムと銅を使用している。

### 実験結果及び考察

Fig. 2 は、アルミニウム円板と銅円板の周波数変化に対する電圧の推移を示している。アルミニウムの円板では $f=400, 1800\text{Hz}$ 付近で電圧の急激な上昇が確認でき、最大電圧は $f=1770\text{Hz}$ で6.5Vの電圧が生じた。一方、銅の円板についても $f=350, 1500\text{Hz}$ で電圧の急激な上昇が確認でき、最大電圧は $f=360\text{Hz}$ で9.1Vの電圧が生じた。これらの結果より、アルミニウムと銅は固有振動数には若干の誤差があるものの同様の傾向を得ることができた。また、ピーク時の電圧を比較すると、銅円板の方がアルミニウム円板より高い電圧を示しており、発電特性が優れていると考えられる。

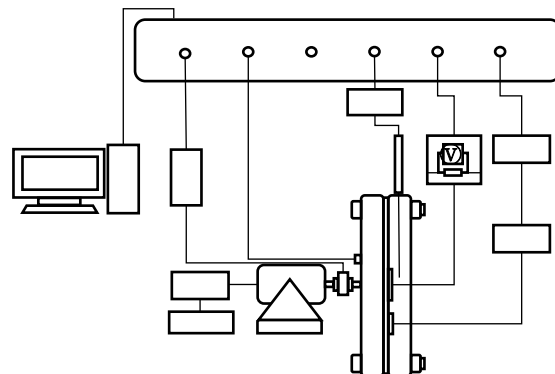


Fig. 1 実験装置概略図

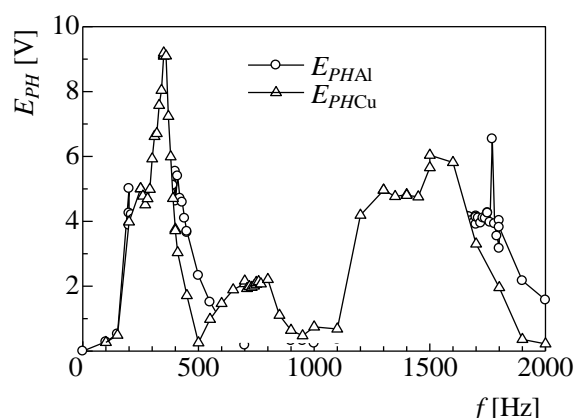


Fig. 2 周波数変化に対する電圧の推移

### 謝辞

本研究は『公益財団法人 八洲環境技術振興財団』の助成を受けたものである。

責任著者：土屋 寛太郎(東海大学工学部精密工学科)

### 参考文献

- (1) 土屋、森山、岩森、非軸対称の円板モードを考慮した圧電振動発電、東海大学紀要、工学部 56(1)、101-106、2016

## 熱音響機関に接続するリニア発電機の磁場解析を用いた設計

\*福田 純一郎(東海大学大学院)、\*\*木村 英樹(東海大学)、佐川 耕平(東海大学)、長谷川 真也(東海大学)

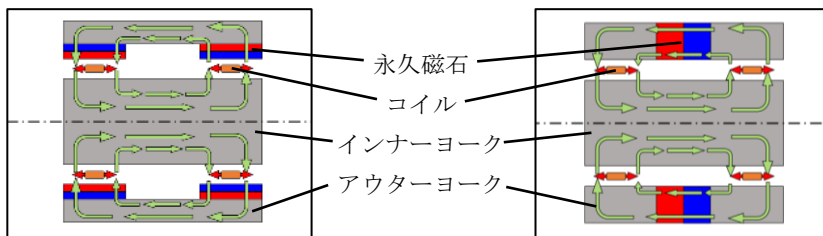
### 1 研究背景・目的

本研究では熱音響機関を用いて熱から変換された音波を電力として利用する技術として、リニア発電機に注目した。リニア発電機は、クランクリンク機構を組み合わせたモーターと比較して、振幅の小さな振動や不規則な振動による発電に適している。しかし、可動子が加減速を繰り返すため、発電効率改善や、低出力な動力源に適応する上で可動子の軽量化が重要となる。本研究では熱音響機関に接続するリニア発電機の開発を目的として、磁場解析ソフト JMAG を用いて評価および改善を行った。

### 2 基本構成

図 1 に本研究における 2 つのリニア発電機の構成を示す。図 1 に示すようにインナーヨークとアウターヨーク間の磁界中で二つのコイルが移動することで電磁誘導が生じる。コイルを可動子とすることで、磁界の変動が小さく軽量化しやすいという利点があるが、可動子の軽量化と巻き線の延長がトレードオフの関係となる。

表 1 に設計要件を示す。本研究ではリニア発電機を熱音響機関に接続するため、表の設計要件を満たす必要がある。



(a) 永久磁石を径方向設置した構成 (b) 永久磁石を軸方向設置した構成

図 1. リニア発電機の構成

振幅	[mm]	12
周波数	[Hz]	50
発電電力	[W]	≒100
コイル質量	[g]	≦50

### 3 解析および設計

設計要件を満たしつつ、可動子の軽量化を目的にコイルの巻き線長さ、渦電流の抑制を目的にコイル保持軸鎖交磁束について検討した。また、使用する材料は入手性を考慮し、永久磁石が N40 の直方体、ヨークには S45C を使用した。図 1 に設計要件を満たす永久磁石径方向設置モデルを、図 2 に発電電力波形を示す。コイル内径は 46mm、巻き数は 6 回でコイル重量は 2 つで約 29g となり、軸方向の全長は 80mm、コイル保持軸径は 6mm である。このときのコイル重量は二つで 29g 程度となる。また、コイル保持軸鎖交磁束を低減するため、保持軸は外径 12mm のアルミパイプで包んだ。次に永久磁石を軸方向設置したモデルについて検討した。図 4 に軸方向設置モデルを示す。このとき、コイルおよびインナーヨーク、保持軸は前述したものと同一である。表 2 に各部の鎖交磁束を示す。軸方向設置モデルのコイル鎖交磁束が小さい原因として、外周側の磁束が外部に大きく流出したことが挙げられる。コイル鎖交磁束を大きくするべく永久磁石を延長したが、外部への流出とともに永久磁石内で磁気飽和が発生したため改善が見られなかった。そこで、径方向設置の構成で保持軸鎖交磁束を低減するための検討を行った。検討したモデルは、保持軸を包むアルミパイプの外径を 13mm に拡大することでインナーヨークからギャップを設け、アウターヨーク板厚を 1.5 倍に拡大することでアウターヨークでの磁気飽和を緩和したものである。これによりコイル径や軸方向長さを変えずに、保持軸鎖交磁束を  $4.48 \times 10^{-10}$  Wb まで低減した。このとき、コイル鎖交磁束密度は  $4.89 \times 10^{-4}$  Wb である。このとき、アルミパイプ外径を 14mm、および 15mm に拡大したものについても検討したが、インナーヨークの磁気飽和による漏れ磁束が大きくなったため、保持軸鎖交磁束を低減することができなかった。

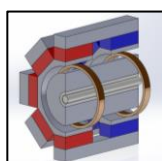


図 2. 径方向設置モデル

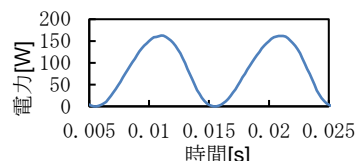


図 3. 発電電力波形

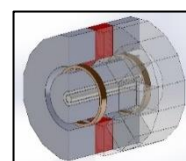


図 4. 軸方向設置モデル

	径方向設置	軸方向設置
コイル鎖交磁束 [Wb]	$4.90 \times 10^{-4}$	$3.49 \times 10^{-4}$
保持軸鎖交磁束 [Wb]	$3.86 \times 10^{-9}$	$2.47 \times 10^{-9}$

## ディンプル数によって変化させた占有率が回転するゴルフボールの空力特性に与える影響

\*森山 幸平（東海大学工学部機械工学科）、\*小関 貴裕

\*柴田 康平（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻） \*\*岡永 博夫（東海大学工学部機械工学科）

### 1. 緒言

ゴルフボールにはディンプルと呼ばれる凹みを無数に施してあり、それは表面を乱流遷移させて抗力を低減し揚力を上昇させて、飛翔距離を伸ばす効果がある。井原氏らの研究<sup>(1)</sup>ではディンプルの空力特性の影響はディンプルの占有率等の平均形態量が重要であると示し、鳴尾氏らの研究<sup>(2)</sup>では占有率を極小ディンプルを用いて上昇させ、低速域での揚力を維持し飛距離が伸びることを示した。しかし、これらを含めゴルフボールの論文においてディンプルの占有率と空力特性の関係を明らかにした研究結果はない。そこで本研究ではゴルフボールのディンプルの占有率が空力特性に与える影響を明らかにすることを目的とし、ディンプル数のみで占有率を変化させたモデルボールを用いて風洞実験による揚・抗力測定実験を行った。

### 2. 実験方法及び実験結果

本実験で使用したモデルボールを Fig.1 に示す。前田氏らの研究<sup>(3)</sup>で用いられたディンプル深さが 0.5 mm、ディンプル平均直径が 9.0 mm、ディンプル数が 314 個、占有率  $O$  が 52.6 % のボールを基準とし、ディンプル数のみを 398 個と 476 個に変化させたボールがそれぞれ占有率 66.6 %、81.2 % である。81.2 % は複数種類のディンプルを用いてディンプル直径平均 9.0 mm に揃えた。揚・抗力測定実験で使用した吹き出し型風洞装置とピアノ線支持法の概略図を Fig.2 に示す。本実験でスピンパラメータを実際の競技領域に合わせるために流速は 37 m/s、回転数を 400~800 rpm で 50 rpm ごとに回転させた。抗力係数とスピンパラメータの関係を Fig.3、揚力係数とスピンパラメータの関係を Fig.4 に示す。抗力係数は占有率が 52.6 % を基準とし 66.6 % が平均 3.86 %、81.2 % が平均 2.65 % 程しか増加せず、揚力係数は 66.6 % が平均 1.37 %、81.2 % は平均 27.1 % 増加し、81.2 % が最も高い値を示した。

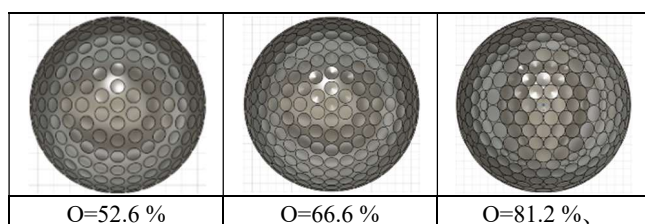


Fig.1 Experimental balls

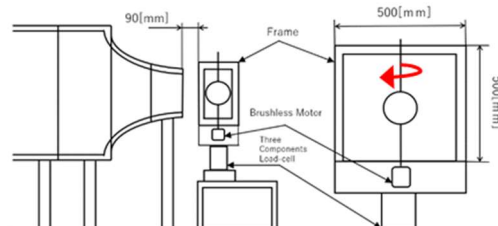


Fig.2 Schematic diagram of wind tunnel and piano support

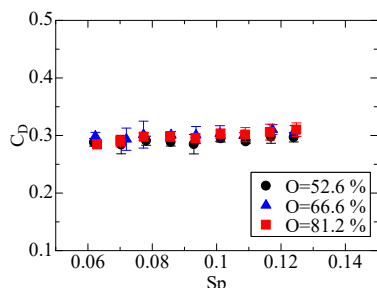


Fig.3 Drag coefficient of Model balls

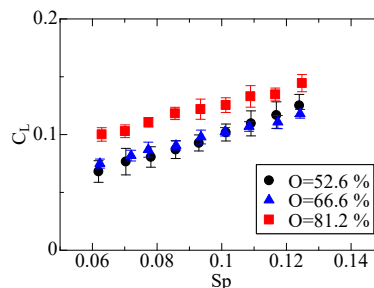


Fig.4 Lift coefficient of Model balls

### 3. 結言

ディンプル占有率が 52.6 % を基準とした時、抗力係数は占有率によって殆ど変化せず、揚力係数は占有率が最も大きい 81.2 % のものが大きく増加した。以上のことからディンプル数を増加してディンプル占有率を大きくすると空力特性は向上することが分かった。

### 4. 参考文献

- 井原敬介、斉藤翼、荒木靖豪、ゴルフボールの技術開発、計測と距離、Vol.24、No.8、1985年8月
- 鳴尾丈司、道下匡啓、宮田美文、宇田雅史、溝田武人、田北和幸、ゴルフボールのディンプルが空力特性に及ぼす影響 - 新コンセプトのディンプルによる空力特性および飛翔特性向上、日本機械学会[No.14-40]シンポジウム：スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2014 講演論文集[2014.10.29-31、新潟]
- 前田拓郎、河本崇一、高橋翔希、岡永博夫、Micro Surface Roughness が回転時のゴルフボールの空力特性に与える影響、東海大学工学部機械工学科 2019 年度卒業論文

## ジャイロモノレールの製作及び車体安定性に関する研究

\*天谷 知司(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、\*\*土屋 寛太郎(東海大学工学部精密工学科助教)、\*\*奥山 淳(東海大学工学部精密工学科教授)

### 1. 序論

ジャイロはセンサーやコンパス等での利用が盛んであるが、アクチュエーターとしての使用はジャイロバイク等の例があるものの、あまり一般的ではない<sup>[1]</sup>。ジャイロをアクチュエーターとして用いるジャイロモノレールは、20世紀初頭に Louis Brennan, August Scherl, Pyotr Shilovsky らが提唱したものであり<sup>[2]</sup>、ジャイロ効果を用いて1本のレール上を走行する車両のことを指す。Brennan らは各々でジャイロモノレールの試作モデルを製作した。ジャイロモノレールのフルスケールでの開発は1960年台が最後であり、その後の開発は行われていない。現在では森博嗣らをはじめ、小型モデルの研究が散発的ながら行われている<sup>[2]</sup>。なお、ジャイロモノレールは車体全体を2自由度ジャイロとみなすことができ、ジャイロモノレールに必要な機構は、ホイール及びジンバルから成る1自由度ジャイロ(以下単にジャイロと示す)、ジンバルの歳差運動(回転方向)を検知する機構及びジンバルに加力するサーボ機構、走行装置、車体に大別される。ジャイロモノレールの利点は、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、先述のように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>[2]</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の製作及び安定性に対する確認を行った。

### 2. 左右への車体の安定性の確認

Fig.1 は本研究で製作したジャイロモノレールである。ジャイロには重量468[g]、直径69.5[mm]のホイールを搭載し、ジャイロの総重量は782[g]、本研究車両の製作時の重量は1420[g]であった。製作したジャイロモノレールにおいて、サーボモーターによる車体の復元がなされていることを確認するため、サーボモーターに加えた電圧及び左右への車体変位量を測定した。測定はジャイロモノレールをレールに載せて走行を停止した状態で実施し、レーザーを車体前面中心のレール頭頂部からの高さ50[mm]の位置に照射し、左右への車体変位量の測定を行った。車体変位量は進行方向右側への変位が正、左側が負である。Fig.2はジャイロモノレールが動作を開始してから52.6[s]から85.7[s]に至るまでの、サーボモーターが安定して左右各3回ずつ作動した際の左右への車体変位量及びサーボモーター電圧との関係を示す。Fig.2より、サーボモーターに電圧が加わる度に車体変

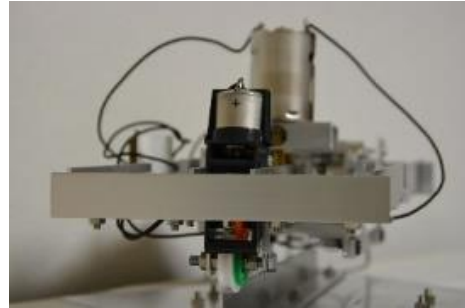


Fig.1 本研究で製作したジャイロモノレール

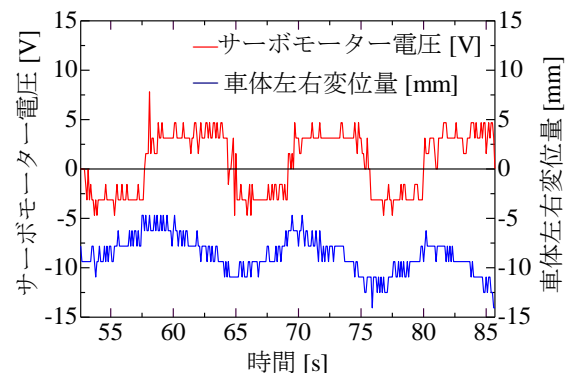


Fig.2 サーボモーターの電圧及び左右への車体変位量

位の方向が逆向きに変化することから、車体姿勢が実際に復元されていることが確認された。車体姿勢の変位とサーボモーターの回転はそれぞれが遅滞なく作用しあうことが望ましいが、車体が傾いてからサーボモーターが回転するまでには2.5[s]程度の遅れが生じている。この要因として、サーボモーターに給電するためにジンバルの回転方向を検知する際の遅れが考えられる。一方で、サーボモーター電圧が加わると車体の傾きは直ちに減少し、遅れはほぼ生じなかった。

以上の結果より、本研究で製作したジャイロモノレールはジンバルの回転方向の検知に遅れが生じているものの、サーボモーターの動作により継続的に車体姿勢を復元及び維持できることが確認できた。

### 3. 参考文献

- [1] 大内茂人、小谷齊之、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
- [2] 森博嗣、ジャイロモノレール、幻冬舎(2018)



## 大気圧プラズマジェット照射による有色水溶液の脱色

\*佐藤大輔(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、小田慶喜(東海大学研究推進部)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. はじめに

大気圧プラズマを用いて染色工場の廃水を脱色する研究が注目されている。我々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、有色水溶液の脱色を目指した研究を行っている。これまでの研究において、有機染料として最も良く使われているアゾ系染料の中のアマランスの水溶液(赤色)に大気圧 Ar プラズマジェットを照射すると、水溶液が脱色されることが見出されている。この脱色は、プラズマ中の高エネルギー電子が水(H<sub>2</sub>O)分子に衝突し発生する水酸(OH)ラジカルによる酸化(電子の引抜き)による分子の分解と考えられている。

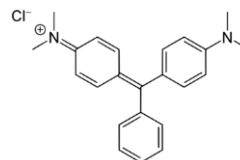
本研究の目的は、他のアゾ系染料水溶液や、他の系の染料であるキサンテン系染料水溶液あるいはトリフェニルメタン系染料水溶液も脱色が可能であるのかを明らかにすることである。実験には、トリフェニルメタン系青色染料マラカイトグリーン(図 1-(a))、キサンテン系オレンジ色染料ローダミン 6G(図 1-(b))、アゾ系黄色染料タートラジン(図 1-(c))を用いた。

### 2. 実験

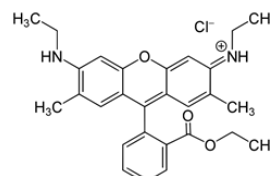
大気圧 Ar プラズマジェットは、周波数 10 kHz、印加電圧 10 kV、Ar ガス流量 10 L/分間で発生させた。直径 60 mm のガラス製ペトリ皿に各水溶液(濃度 100 μmol/L)を 10 mL 入れ、プラズマを照射した(図 2)。照射距離(石英管先端から液面まで)は 15 mm、照射時間は 1~60 分間とした。各水溶液の吸光度スペクトル測定には JASCO 製分光光度計 V-630 を用いた。

### 3. 結果と考察

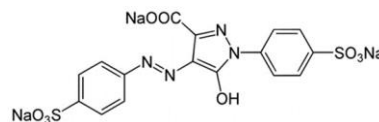
図 3 にプラズマジェット照射に伴う各水溶液の色の变化を示す。プラズマ照射前ではそれぞれ青色、オレンジ色、黄色であったが、プラズマ照射時間の増加に伴い徐々に色が薄くなり、それぞれ 30 分間、40 分間、60 分間照射後には透明になった。これらの結果から、大気圧 Ar プラズマジェットを用いてこれらの染料水溶液が脱色されることがわかった。



(a) トリフェニルメタン系染料：マラカイトグリーン



(b) キサンテン系染料：ローダミン 6G



(c) アゾ系染料：タートラジン

図 1 分子構造

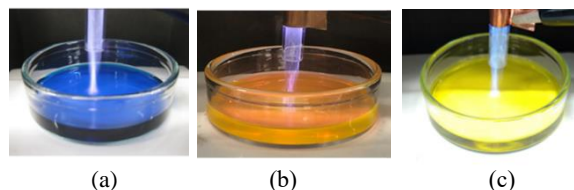


図 2 水溶液へのプラズマ照射の様子

(a)マラカイトグリーン水溶液、(b)ローダミン 6G 水溶液、(c)タートラジン水溶液

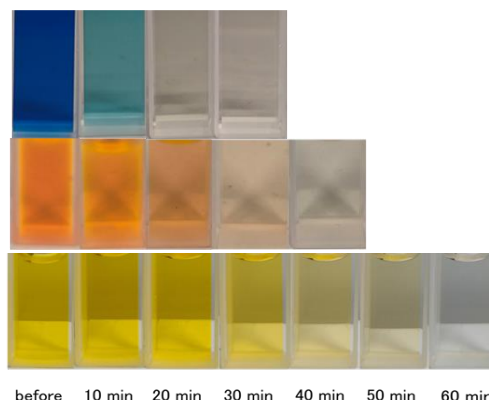


図 3 プラズマ照射に伴う各水溶液の色の变化

(a)マラカイトグリーン水溶液、(b)ローダミン 6G 水溶液、(c)タートラジン水溶液

## 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(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、笠井哲郎(東海大学工学部土木工学科)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)

### 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。モルタルは建築材料であり、セメントと砂(細骨材)と水を練り混ぜたもので、砂利(粗骨材)を混ぜるとコンクリートとなる。セメントの成分は、珪酸三カルシウム( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ )や二水石膏( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )などである。

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が向上し吸水性が生じることを見出している。

本研究の目的は、大気圧Arプラズマジェットをモルタルへ照射しモルタルの強度を向上させることである。モルタルの強度が向上すれば、ビルや橋などのコンクリート構造物の強度の向上が期待される。

### 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、照射距離2 mmで、強度試験用モルタル試料( $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ )の4面の中央に1分間および5分間照射された(図1-a)。温度測定用モルタル試料( $60 \times 60 \times 60 \text{ mm}^3$ )へは上面中央に30分間照射された(図1-b)。プラズマ照射後に強度試験用モルタル試料は、3、7、18日間水中養生された。

モルタルの強度の評価は、曲げ強度試験と圧縮強度試験を日本工業規格(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。温度測定には、モルタル試料に表面から1 cmの間隔で3本のアルメル・クロメル熱電対を埋め込んだ物を用いた。表面温度の測定には、NEC Avio製サーモカメラF30を用いた。内部温度の測定には、東京測器研究所製データロガーTDS-530を用いた。

### 3. 結果と考察

図2に曲げ強度の水中養生日数依存性を示す。曲げ強度は、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度は、3試料とも約 $8.7 \text{ N/mm}^2$ 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度は変化せず、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に圧縮強度の水中養生日数依存性を示す。圧縮強度は、水中養生日数の増加に伴い増加した。18日間水中養生後の圧縮強度は、プラズマ照射前では $45.9 \text{ N/mm}^2$ であり、プラズマ照射後では $51.2 \sim 52.2 \text{ N/mm}^2$ で

あった。この結果から、プラズマ照射により圧縮強度は約1.1倍向上することがわかった。

この強度の向上は、プラズマ照射により水和反応が多く生じ、セメントと砂利(粗骨材)の結合が増えたためと考えられる。

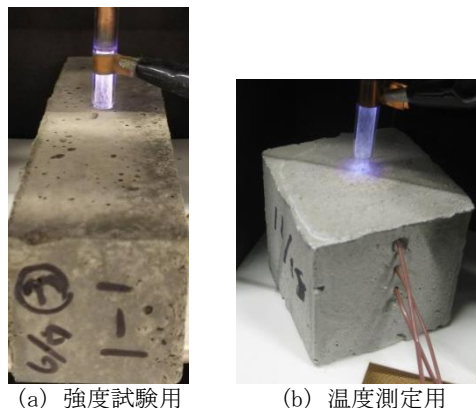


図1 モルタル試料への大気圧プラズマジェット照射の様子

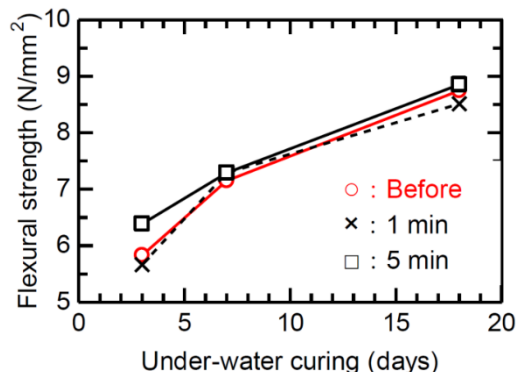


図2 曲げ強度の水中養生日数依存性

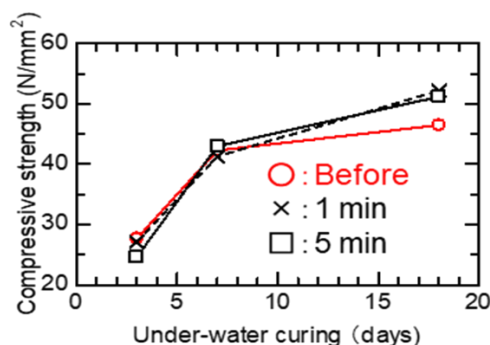


図3 圧縮強度の水中養生日数依存性

## 大気圧プラズマジェットを用いた室温・1気圧でのアンモニア合成

\*辻 拓(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、三上一行(東海大学理学部化学科)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. はじめに

アンモニア(NH<sub>3</sub>)は、化学肥料や化学繊維の原料として重要であり、最近では燃料電池の水素源としての利用も期待されている。現在アンモニアは、空気中の窒素(N<sub>2</sub>)と天然ガス中の水素(H<sub>2</sub>)を高温(約 500 °C)・高圧(約 200 気圧)下で触媒を用いて反応させるハーバー・ボッシュ法で合成されている。しかしながら、この合成法は、高温・高圧が必要なためエネルギー消費が多く、また将来天然ガスが枯渇するなどの問題がある。ハーバー・ボッシュ法に替わるアンモニア合成法が必要とされている。

本研究の目的は、大気圧アルゴン(Ar)プラズマジェットを用いて室温・1気圧で空気と水からアンモニアを合成させることである。

### 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 8.5~10 kV、Ar ガス流量 6~10 L/分間で発生させた。直径 60 mm のガラス製ペトリ皿に蒸留水を 20 mL 入れ、照射距離(石英管先端から液面まで) 2~40 mm でプラズマジェットを 20~80 分間照射した(図 1)。プラズマ照射時の消費電力は、約 20 W であった。

蒸留水中のアンモニアの確認にはネスラー試薬反応を用い、アンモニウムイオン(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)濃度の測定はキャピラリー電気泳動(CE)法で行った。水中ではアンモニアは、アンモニウムイオンとして存在している。CE 測定には、Agilent Technologies 製 G1602A を用いた。

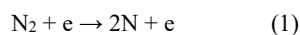
### 3. 結果と考察

図 2 に各プラズマ照射時間でのネスラー試薬反応を示す。プラズマ照射時間の増加に伴い色が濃くなった。この結果は、蒸留水中にアンモニアが合成されていることおよびその濃度がプラズマ照射時間の増加に伴い増加したことを示している。

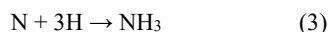
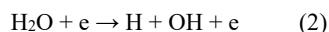
図 3 に NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度のプラズマ照射時間依存性を示す。NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度は、プラズマ照射時間の増加に伴いほぼ比例的に増加することがわかった。

大気圧 Ar プラズマジェットを用いて空気と水からアンモニア(NH<sub>3</sub>)を合成する過程を示す。

空气中(気相中)



空气中(気液界面)



水中(液相中)



式(1)は、プラズマ中の高エネルギー電子(e)の空气中の N<sub>2</sub> への衝突による解離を示している。式(2)は、高エネルギー電子の H<sub>2</sub>O への衝突による解離を示している。式(3)は、NH<sub>3</sub> の合成を示している。式(4)は、水のイオン化を示している。式(5)は NH<sub>4</sub><sup>+</sup>の発生を示している。

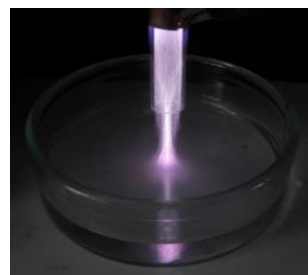


図 1 蒸留水へのプラズマ照射の様子

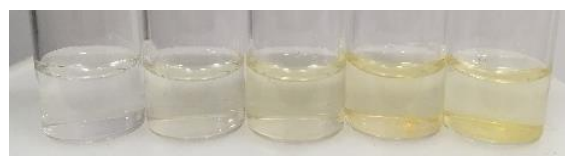


図 2 各プラズマ照射時間でのネスラー試薬反応(左から未照射、20分、40分、60分、80分間照射)

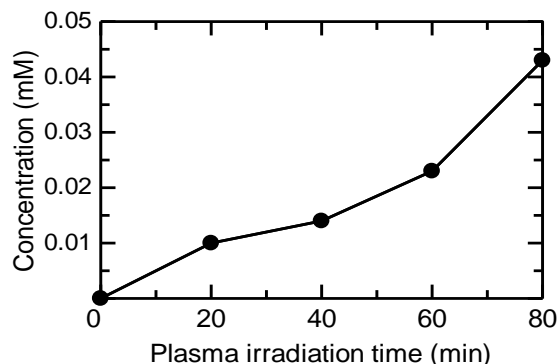


図 3 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度のプラズマ照射時間依存性

## 大気圧プラズマジェットを用いたアルミ蒸着薄膜の横方向エッチング

\*平島伊織(東海大学工学部電気電子工学科)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. はじめに

金属へ大気圧プラズマを照射し、表面加工や表面改質を行う研究が注目されている。桑畑研究室では、これまでガラス基板上に真空蒸着されたアルミニウム(Al)薄膜へ大気圧アルゴン(Ar)プラズマジェットを照射すると、Al 薄膜がまず縦方向にエッチングされ、その後横方向にエッチングされることが見出されている。しかしながら、エッチングの原因は不明であった。

本研究の目的は、大気圧プラズマジェットによる Al 薄膜のエッチングの原因の解明である。

### 2. 実験

図 1 に実験装置の概略図を示す。Logy 製高電圧電源 LHV-10AC を用いて、周波数 10 kHz、印加電圧 10 kV、Ar ガス流量 10 L/分間でプラズマジェットを発生させ、照射距離 2 mm でガラス基板上に真空蒸着された Al 薄膜(厚さ約 3 $\mu\text{m}$ )に 1~70 分間照射した。

Al 薄膜の表面観察には JEOL 製走査型電子顕微鏡(SEM)JCM-6000Plus を用いた。プラズマ照射時の Al 薄膜の温度測定には、NEC Avio 製サーモカメラ F-30 を用いた。

### 3. 結果と考察

図 2 にガラス基板上に蒸着された Al 薄膜へのプラズマ照射の様子を示す。(a)ではプラズマ中の青白い筋のように見える多数のストリーマがまっすぐ Al 薄膜に当たっていた。ストリーマが当たった場所がエッチングされていた。(b)ではストリーマが、Al のエッチングにより露出したガラス表面上を横方向へ放射状に広がっていた。(c)ではストリーマは弱くなり 1 本だけ Al 薄膜に当たっていた。この結果から、プラズマ照射時間の増加に伴いストリーマの本数が減ることが分かった。

図 3 にプラズマ照射後のガラス基板上に蒸着された Al 薄膜の写真を示す。(a)では Al 薄膜は直径約 6 mm のリング状にエッチングされていた。エッチングされた部分の直径はプラズマ照射時間の増加に伴い増加した。(d)ではエッチングされた部分が円状になり、その直径は約 26 mm であった。プラズマの照射時間が長くなると、Al 薄膜が横方向へエッチングされた。

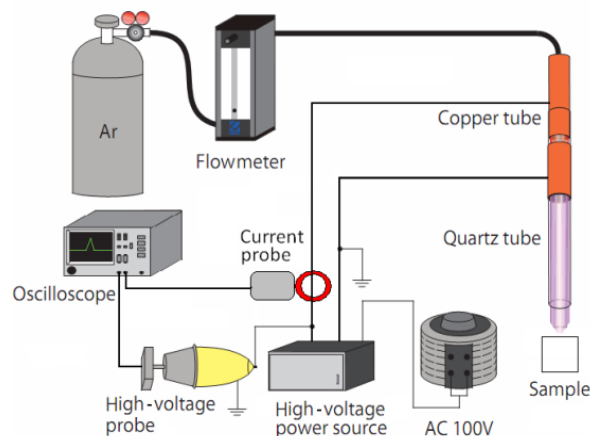
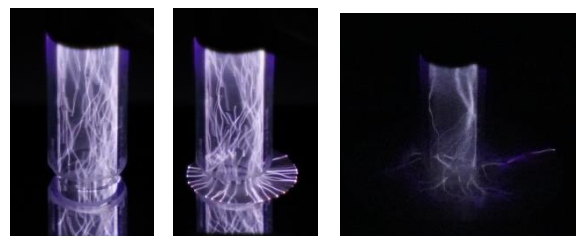
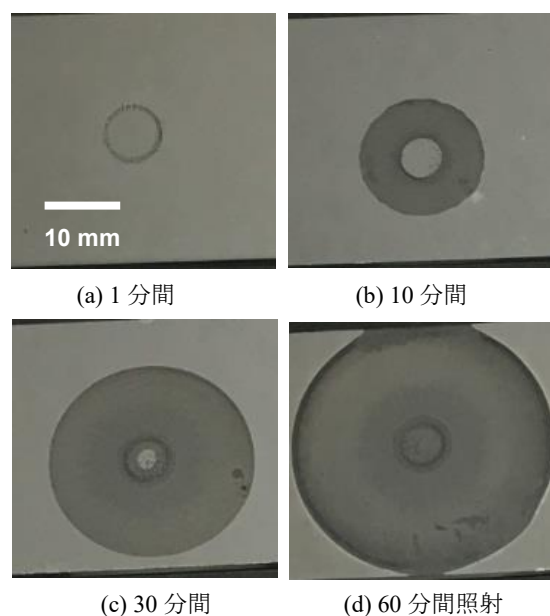


図 1 実験装置の概略図



(a) 1 分間 (b) 10 分間 (c) 60 分間照射

図 2 ガラス基板上に蒸着された Al 薄膜へのプラズマ照射の様子



(a) 1 分間 (b) 10 分間

(c) 30 分間 (d) 60 分間照射

図 3 プラズマ照射後のガラス基板上に蒸着された Al 薄膜の写真

## 大気圧プラズマジェット照射によるアルミニウムの表面加工

\*小川嵩太(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*桑畑周司(東海大学工学部電気電子工学科)

### 1. はじめに

金属へ大気圧プラズマを照射し、表面改質や表面加工を行う研究が注目されている。これまでの私たちの研究室の研究において、ガラス基板にアルミニウム (Al) を真空蒸着したものに大気圧アルゴン (Ar) プラズマジェットを照射すると、Al がエッチングされることがわかっている。

本研究の目的は、Al 板に大気圧 Ar プラズマジェットを照射すると、Al 板表面がどのように変化するかを明らかにすることである。

### 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/min で発生させ、照射距離 2 mm で Al 板(厚さ 0.3 mm)に照射時間 1~60 分間照射された (図 1)。

Al 板の表面形状の観察には、Nikon 製実体顕微鏡 SMZ25、KEYENCE 製レーザー顕微鏡 VK-X200、卓上走査型電子顕微鏡 (SEM) JEOL 製 JCM-6000 Plus を用いた。

### 3. 結果と考察

図 2 にプラズマ照射した Al 板の実体顕微鏡像を示す。1 分間照射では Al 板表面に外径約 6 mm のリングがうっすらと見られた。この値は石英管の内径の値と同じであることから、このリングはプラズマ(ストリーマ)が当たった痕と考えられる。プラズマ照射時間の増加に伴いリングははっきりし、その幅はわずかに増加した。

図 3 にリングの一部分のレーザー顕微鏡像を示す。赤色の部分は周りより高い部分である。ストリーマが当たった痕は赤くなっていた。従って、ストリーマが当たった痕は盛り上がっていることがわかった。赤い部分(盛り上がった部分)の高さは、プラズマ照射時間の増加に伴い増加した。

図 4 にリングの一部分の SEM 像を示す。ストリーマが当たって盛り上がった部分は、細かな柱状が密集しているように見える。柱状の直径は約 3  $\mu\text{m}$  だった。黒い部分は盛り上がっていない部分であるので、ストリーマが当たった痕は、盛り上がっている部分と盛り上がっていない部分が混在していることがわかった。



図 1 Al へのプラズマ照射の様子

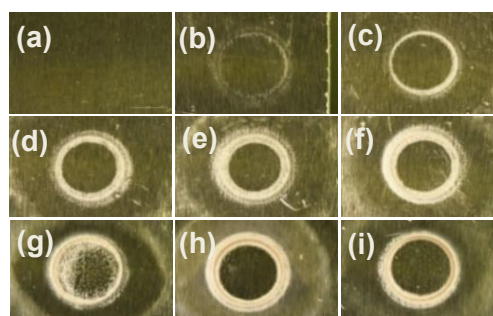


図 2 プラズマ照射した Al 板の実体顕微鏡像 (10 倍)  
(a) 未照射、(b) 1 分間、(c) 5 分間、(d) 10 分間、  
(e) 20 分間、(f) 30 分間、(g) 40 分間、(h) 50 分間、  
(i) 60 分間照射

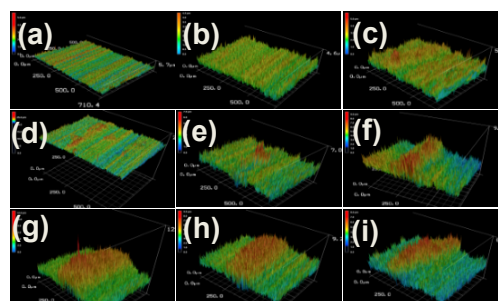


図 3 リングの一部分のレーザー顕微鏡像 (20 倍)  
(a) 未照射、(b) 1 分間、(c) 5 分間、(d) 10 分間、  
(e) 20 分間、(f) 30 分間、(g) 40 分間、(h) 50 分間、  
(i) 60 分間照射

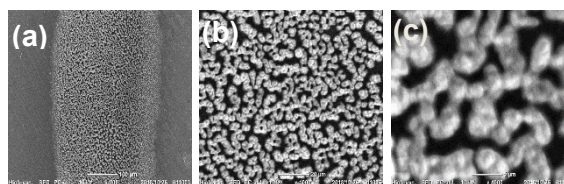


図 4 リングの一部分の SEM 像  
(a) 200 倍、(b) 1000 倍、(c) 4000 倍

## 核融合壁材料であるタングステンへの重水素プラズマ暴露実験

- \* 林俊輔（東海大学理学部物理学科）、金子新（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）、内田ヘルムート貴大（東海大学工学部精密工学科）、小栗和也（東海大学教養学部自然環境課程）、松村義人（東海大学工学部原子力工学科）、佐藤浩之助（東京理科大学）、河村和孝（東海大学）

核融合反応は、1 g の燃料から石油 8 t と同等のエネルギーを生み出すことができる。そのため、次世代のエネルギー源として、国際的に核融合発電の研究が進められている。核融合発電では、1 億度という高温で、水素同位体である重水素(D)とトリチウム(T)を燃料として核融合反応を起こす、D-T 反応での発電を目指している。D-T 反応によって生成されるヘリウム(He)を含めた不純物は、核融合反応を維持するための妨げになる。これを防ぐために、核融合装置にはダイバータという不純物排気機構が設置されている。ダイバータでは、不純物とともに未反応の燃料粒子(D,T)も排気されるが、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。ここで、問題になるのは T の存在である。T は放射性物質であり、W への吸蔵は安全性の観点から望ましくない。そこで、T がどの程度吸蔵されるのかを明らかにする研究が進められている。また、ダイバータは常に高い熱負荷に晒されるので、水冷管を通し温度を下げる必要がある。W 中に吸蔵された T が W 中を透過し冷却水にまで達する場合、トリチウム水の処理問題も出てきてしまう。そのため、W 中に吸蔵される燃料粒子の透過量を調べることは重要である。吸蔵量については、取り扱いの容易な D のイオンビームやプラズマを用いた基礎実験が行われてきたが、透過特性を明らかにするための実験はあまり行われていない。

そこで、我々は W を透過する水素同位体を計測するため、W 板の背面に水素吸蔵金属であるチタン(Ti)板を重ね合わせた W-Ti 試料を考案した[1]。しかし、W と Ti は化学的に結合をしているわけではなく、W を脱離した D は W-Ti 間の空隙内で一度分子になった後、Ti 表面で解離する必要があるため、透過した D が Ti に吸蔵されない可能性がある。したがって、本実験では解離エネルギーが低い白金(Pt)膜を W と Ti の接着面にスパッタし、透過計測に最も適した W-Pt-Ti 試料を作成することを目的とする。

実験では 4 種類の試料を作成し、それぞれを直線型プラズマ装置 TPDsheet-U [2]で生成した D プラズマに暴露した。試料は図 1 に示すように、(1) W と Ti の両接着面に Pt をスパッタした W+Pt-Pt+Ti 試料、(2) W のみに Pt をスパッタした W+Pt-Ti 試料、(3) Ti のみに Pt をスパッタした W-Pt+Ti 試料、(4) W と Ti のどちらにも Pt をスパッタしていない W-Ti 試料である。実験条件は、放電ガス(D<sub>2</sub>)流量 45 sccm、イオンフラックス  $5.41 \times 10^{21}$  ions/m<sup>2</sup>s、曝露時間 900 s である。プラズマ暴露後の試料を、W と Ti を別々に昇温脱離装置(TDS)で分析することで、Ti の重水素吸蔵量を調べた。

## 参考文献

- [1] T. Hayashi *et al.*, *Fus. Eng. Des.* **136** (2018) 545–548.
- [2] H. Miyamatsu *et al.*, *J. Adv. Sci.* **32** (2020) 32105.

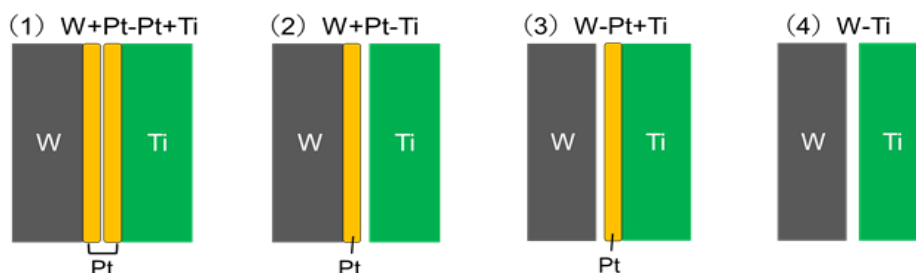


図 1. W-Ti 試料の組み合わせ.

## 核融合加熱用非 Cs 型負イオン源のビーム引き出し特性

\* 永坂優弥（東海大学理学部物理学科）、神永啓希（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）

\*\* 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）、河村和孝（東海大学理学部物理学科）

核融合反応は、原子核同士が高速で衝突し、より重い原子核に変化する反応である。このとき新たに生成された粒子は非常に大きなエネルギーを持つ。このエネルギーを利用したものが核融合発電である。核融合反応を定常的に発生させるためには、臨界プラズマを維持する必要がある、ローソン条件を満足する必要がある（プラズマ温度一億度、密度 $10^{20}/m^3$ を一秒以上）。炉心プラズマの加熱には、NBI（中性粒子ビーム入射）加熱が採用されている。これは負イオン源から引き出したイオンを静電的に加速させ、中性化セルで中性化して、高エネルギーの中性粒子ビームを炉心プラズマに入射し、加熱する方法である。一般的に、負イオン源には、負イオンの生成を補助するセシウムを用いるが、絶縁破壊を引き起こす原因となるので、長時間運転に不向きである。そのため、セシウムを使用せずに高密度の負イオンを生成可能な負イオン源が求められる。装置の大型化に伴い、必要とされる負イオンビーム電流値が40Aに増加した。同時に引き出される電子電流密度も $30\sim 50\text{mA}/\text{cm}^2$ となり、NBI装置にかかる熱負荷が大きくなった。

本研究では、直線型プラズマ生成装置 TPDsheet-U(図1参照)を用いて、セシウムを使用しない負イオン源の開発を行っている。高密度のシートプラズマは高密度負イオンの生成に適しており、先行研究では高密度の負イオンビーム引き出しに成功している[1]。しかしながら、負イオン生成の際に電子電流が通常より10倍以上観測されている。負イオンとともに引き出される電子電流値を低減させるために、プラズマ内の電子の振る舞いを観測し、理解することで効率よく電子電流による影響を軽減することを目的とする。本研究では、図2に示す引き出し装置をシートプラズマ周辺部に設置し、引き出される負イオンビーム及び、電子ビームの引き出し特性を調べた。

詳細は、口頭にて発表する。

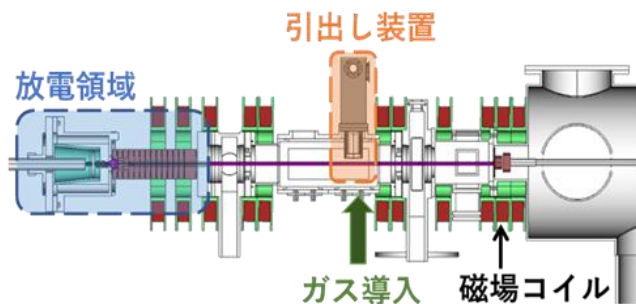


図1 TPDsheet-U 概要図

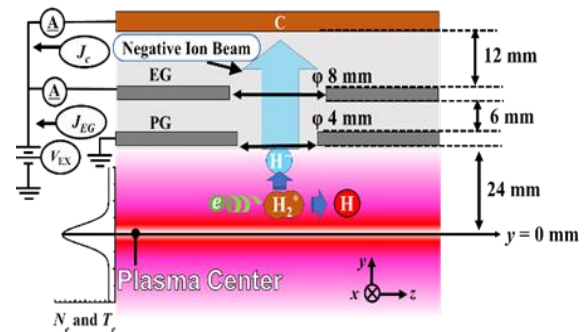


図2 引き出し装置概念図

## 参考文献

- [1] K. Hanai, et al., Plasma Fus. Res. **15** (2020) 2401029 (4pp.).

## CNNによる脳波状態分類に必要なデータ量の検討

\*小笹龍之介（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、山本尚哉（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、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）、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

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 の研究を行ってきた<sup>(1)</sup>。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。本報告では、偶然誤差による誤判定の可能性を検討するために疑似乱数の分類結果と比較した。

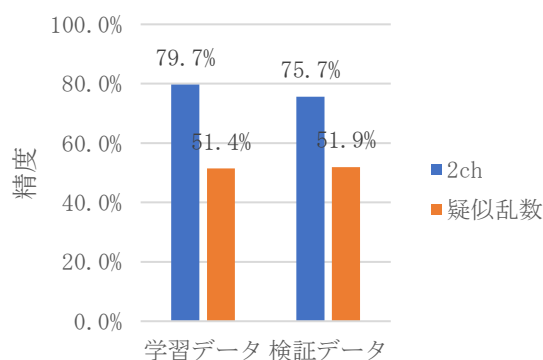
### 2. 方法

被験者は平均年齢が 22 歳の健常成人男性 9 名で行った。被験者には 20Hz と 60Hz の 2 種の異なる周波数の光刺激をそれぞれ 2 分間掲示させた。脳波の測定電極は 10-20 法に基づき、01, 02 から耳朶を基準として単極導出した。脳波測定により、得られたデータを取り出し、振幅確率密度分布を 20Hz と 60Hz の各条件で作成後、畳み込みニューラルネットワーク (CNN) に入力し、学習させることで判別を試みた。深層学習による偶然誤差を調べるために脳波の疑似データを疑似乱数によって作成し、深層学習に用いるデータ数と数を合わせ、同様の解析により検証方法の妥当性を評価した。

### 3. 結果

2ch と疑似乱数の 10 回の学習データに対する平均精度と、10 回の検証データに対する平均精度を比較したものを Fig. 1 に示す。10 回の学習データに対する平均精度は 2ch で 79.7%、疑似乱数で 51.4%、10 回の検証データに対する平均精度は 2ch で 75.7%、疑似乱数で 51.9%であった。

Fig. 1. 学習データと検証データに対する精度の比較



### 4. 考察

Fig. 1 より、疑似乱数では精度がおよそ 50%となっていた。精度が 50%ということは、疑似乱数のデータからは特徴量を見つけ出すことができず、分類することができなかったことがわかる。2ch で得られた精度から、光刺激による特徴を抽出できていることがわかる。また、疑似乱数も同様のデータ数で解析しているため、2ch の解析で得られた精度に対して、偶然誤差で得られるような不規則なデータは深層学習に対して、大きな影響を及ぼさないのではないかと考えられた。

### 5. 参考文献

(1) N. Yamamoto et. al : Investigation on CNN-Based State Classification Towards BCI Application Using Amplitude Probability Density Distribution HClI 2020, CCIS 1224, pp. 683-689, 2020.



## 唾液尿酸計測のための BLE 無線通信式マウスピース型バイオセンサの開発

\*久保寺智哉、大石琢史(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】

近年、高血圧や脂質異常症、糖尿病などの生活習慣病の罹患者数が増加し、特に高尿酸血症は我が国において推定患者数が 1000 万人に達している。高尿酸血症とは尿酸値が 7.0 mg/dL 超と定義されており、痛風の発症を誘引し、2 型糖尿病、尿路結石などの疾患とも密接に関連していることから、患者の尿酸値を正常に保ち適切に管理する必要がある。尿酸値は食事等により日内変動を伴うことから、連続的な測定を行うことが望ましいが、一般的に用いられる自己尿酸値計測は穿刺による苦痛や感染症リスクが存在することから、非侵襲での尿酸値計測が求められている。非侵襲的な計測法には汗や唾液などの体液成分を利用する手法があり、なかでも唾液は分泌量が多く、連続的な評価の可能性はある。本研究では、マウスピース(MP)材料にて尿酸用バイオセンサを作製し、BLE 無線通信により口腔内における唾液尿酸値の連続測定が可能な MP 型尿酸センサを作製した。

### 【実験方法】

本センサは、マウスピース上に電極を成膜し、尿酸を酸化触媒する uricase を固定化することで作製した。まず、予備検討としてシート型電極の作製を行った。MP 材料(polyethylene terephthalate glycol, PETG, ERKODENT)に、スパッタ法にて電極(Pt, Ag)を成膜し、Ag 薄膜を塩化処理にて Ag/AgCl 電極とした。次に、電極に生体適合性材料 PMEHB(poly(MPC-co-EHMA-co-MBP))にて uricase を包括固定化した後、補強と電極表面の保護のため、PMEHB をオーバーコートした。次に唾液中に含まれる電気化学的な夾雑成分(アスコルビン酸(AA))が測定に影響を及ぼすため、影響を最小化する電極への印加電位の選定を行った。さらに AA が溶液中で負に帯電することから、PSS 法と MESNA 法にて Pt 電極に自己組織化単分子膜を形成し、AA の影響抑制について検討した。作製したセンサをリン酸緩衝液と人工唾液に浸漬し、応答性や定量性、温度特性などの評価を行った。さらに、無線通信機能を搭載した MP 型バイオセンサを作製し、防水性を確認した後、口腔内を模倣した歯科用ファントムを用いて尿酸濃度の計測を行った。

### 【結果及び考察】

まず作製したシート型電極をリン酸緩衝液及び人工唾液に浸漬し、標準尿酸溶液に対する定量特性を調べた。図 1 に示すように、リン酸緩衝液と人工唾液ともに、尿酸濃度に応じた出力電流応答が得られ、唾液中の尿酸濃度(70–320  $\mu\text{M}$ )を含む 1–1000  $\mu\text{M}$  の濃度範囲で定量が可能であった。次に、無線通信機を搭載し、携帯端末を用いた MP 型バイオセンサの歯科用ファントムにて実験を行ったところ尿酸溶液の負荷に伴う出力電流の増加が観察され、唾液中の尿酸濃度を含む 50–500  $\mu\text{M}$  の濃度範囲で定量が可能であり、本センサが唾液尿酸値の連続測定に応用できる可能性が示唆された。

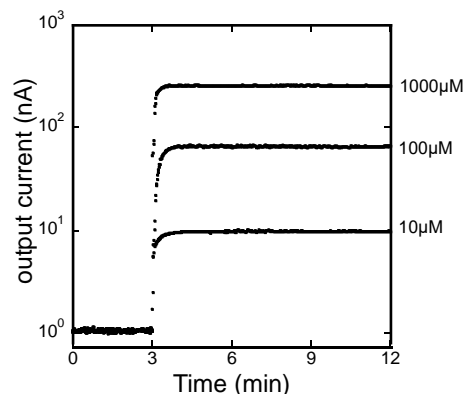


図 1 シート型電極を用いたリン酸緩衝液中での尿酸応答特性

## バイオ蛍光法を用いた皮膚アセトアルデヒドガス用探嗅カメラに関する研究

\*佐川 行哉(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】

呼吸や皮膚から排出される生体ガスには、代謝や疾患に関連する揮発性有機化合物(volatile organic compounds, VOCs)が含まれており、生体ガス濃度の空間分布情報を非侵襲的に計測することで、簡便な代謝評価や生体ガスの発生部位の特定が可能となる。また皮膚ガスにおいては、詳細な放出部位や放出動態、濃度分布を計測することで、皮膚科学や代謝学分野等における新たな知見が得られる可能性がある。そこで本研究では、皮膚ガスの可視化計測を目指し、アルコール代謝産物であるアセトアルデヒド(acetaldehyde, AcH)ガスを対象成分とした「可視化システム(AcHガス用探嗅カメラ)」を開発した。

### 【実験方法】

本可視化システムは、アルコール脱水素酵素(alcohol dehydrogenase, ADH)を固定化し、nicotinamide adenine dinucleotide(NADH)を含浸したメッシュに、AcHガスを負荷することで、AcHの還元およびNADHの酸化反応が生じる。その際に減少するNADHの自家蛍光(ex: 340 nm, fl: 490 nm)の変化を高感度カメラにて撮影することで、AcHガスを可視化し、濃度分布と経時変化を調べる。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(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ガス可視化装置とした。また、ADH固定化メッシュの作製ではまずメッシュ状のコットン担体( $2 \times 2$  cm<sup>2</sup>)に、ADH 60 unit/cm<sup>2</sup>とウシ血清アルブミン(BSA) 1.5 mg、リン酸緩衝液(PB, pH 6.5, 0.1M) 50  $\mu$ L/cm<sup>2</sup>の混合液を付加し、4°Cの冷暗所にて60分乾燥させた。その後、PBにて2.5 vol%に調整したグルタルアルデヒド溶液を8  $\mu$ L/cm<sup>2</sup>滴下し、4°Cの冷暗所にて90分乾燥させることで、酵素を固定化した。可視化実験では、NADH溶液に湿潤させたADH固定化メッシュに、各濃度のAcHガスを負荷し、NADHの蛍光減少を撮影した後、画像解析にて蛍光強度を数値化した。また、本可視化システムを、飲酒後の皮膚AcHガスの可視化計測にも応用した。

### 【結果及び考察】

実験の結果、負荷点を中心とするガス濃度に応じた蛍光の減少が観察され、蛍光強度に基づくAcHガスの可視化が可能であった。撮影された動画像への画像解析を行った所、蛍光強度はガス負荷に伴い減少し、その後、安定する様子が観察された。各濃度のAcHガスを負荷した際の蛍光強度変化(平均画像値)を図1に示す。この図に示すように、算出した蛍光強度とAcHガス濃度に相関が観察され、0.1–10 ppmの濃度範囲でAcHガスの定量が可能であった。次に、本システムを皮膚ガス計測に応用した結果、飲酒後の手掌皮膚から放出されるAcHガスの可視化が可能であった。皮膚からの平均濃度を求めたところ、飲酒後30分をピークとして濃度が漸次減少する様子が観察された。以上ADHによるAcHの還元反応に伴うNADHの酸化消費により、蛍光減少を動画像として撮影することが可能で、皮膚ガスの可視化の有効性が確認できた。

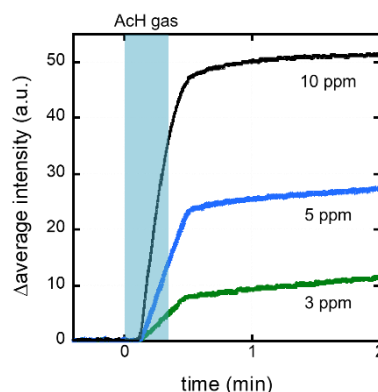


図1 各濃度のAcHガス負荷時における蛍光強度の経時変化

## 皮膚エタノールガス連続計測のためのバイオ蛍光式ガスセンサシステム

\*張 耿、鈴木 卓磨 (東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科)

藪麻 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】

生体ガスには、代謝・疾病の産物である揮発性有機化合物(volatile organic components, VOCs)が含まれており、非侵襲な疾病スクリーニングや代謝機能評価への有用なサンプルとして期待されている。特に、皮膚ガスは呼気と比較し、連続的な採取が容易で、計測時の拘束も低いことから被験者に負担の少ない評価が可能である。しかし呼気に比べて、血液成分の皮膚ガスへの分配係数は極めて小さい、高感度かつ選択性に優れた計測技術が求められる。本研究では飲酒後の皮膚由来のエタノール(EtOH)を対象ガス成分として、アルコール脱水素酵素(alcohol dehydrogenase, ADH)の触媒反応を用いたバイオ蛍光式ガスセンサ(バイオスニファ)を作製し、別途構築した「皮膚ガス連続採取系」を組み合わせることで、飲酒後の経皮 EtOH ガスモニタリングを試みた。

## 【実験方法】

エタノールガスを連続計測するため、ADH を用いてエタノールガス用のバイオスニファを構築し、センサ特性を調べた。ADHはエタノールの酸化触媒反応にて、補酵素として酸化型 NAD<sup>+</sup>を用いてエタノールを酸化し、還元型 NADH を生成する。NADH は自家蛍光(ex. 340 nm, fl. 490 nm)を有することから、NADH の蛍光の増加量を検出することでエタノールガスを測定することが可能である。エタノールガス用バイオスニファは二分岐光ファイバに、励起光源 UV-LED と光電子増倍管を接続し、ADH 固定化膜を気液隔膜としたフローセルを光ファイバプローブ先端に装着することで構築した。また、皮膚に装着する「皮膚セル(面積: 100 mm<sup>2</sup>、容積: 250 mm<sup>3</sup>)」を作製し、キャリアガス(60 ml/min)をセルに導入し、経皮ガスを連続的にセンサの感応部へと送気する連続採取系を構築した(Fig.1)。このバイオスニファと皮膚セルから構成させる「バイオ蛍光式ガスセンサシステム」を用いて、飲酒後の皮膚ガス計測を手掌部位にて行った。

## 【結果及び考察】

作製したバイオスニファの標準エタノールガスに対する応答性および定量特性を調べた結果、安静時のエタノール濃度 (37-207 ppb)、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、25 ppb-128 ppm の濃度範囲でエタノールガスを定量可能であった。次に、皮膚セルを用いて手掌・手の甲・手首の3部位にて飲酒時の皮膚ガス計測を行ったところ、手掌部では、飲酒時における高出力のスパイク状かつ大きな変動を含む、不安定な濃度変化が観察された。このスパイク状の出力は、発汗現象が影響しているものと考察された。なお、比較的汗腺の少ない手の甲と手首では、皮膚ガス中エタノール濃度の経時変化は安定した出力変化を示した。手の甲からの皮膚ガス中エタノールの最大濃度は 17.5 ppb/cm<sup>2</sup>、手首では 20.9 ppb/cm<sup>2</sup>であった。なお、手首は角質層・皮膚層が薄く、動脈血ガスの計測においても良好な結果が報告されており、血中エタノールに由来する皮膚ガス計測に適した部位と考えられる。この皮膚ガス計測の結果は同時に行った呼気計測と相関する変動を示し、血中エタノールを皮膚表面にて非侵襲評価できることが示唆するものと考察された。

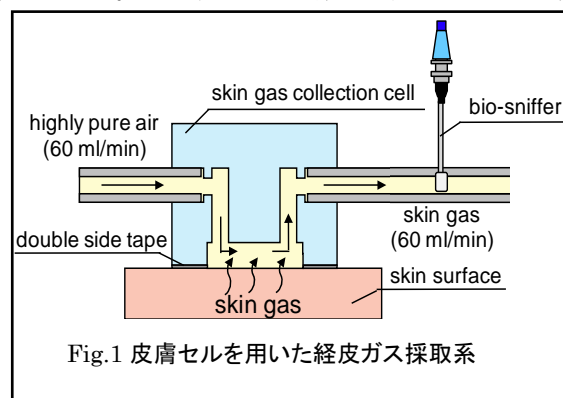


Fig.1 皮膚セルを用いた経皮ガス採取系

## 表面プラズモン増強蛍光 (SPF) を用いた心筋トロポニンの半連続免疫測定

\*里村 結衣、大石 紘希 (東京医科歯科大学大学院 歯学総合研究科)

藁麻 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】

外科的手術は一般的に患者への侵襲を伴うため、種々の合併症を併発することがあり、世界で毎年約 100 万人が術後 30 日以内に死亡している。特にその中でも、周術期心筋梗塞(perioperative myocardial infarction, PMI)は、非心臓手術後の主な死亡原因と報告されており、早期発見・治療が必要である。早期発見には、PMI 発症後 3~4 時間で血中濃度が上昇するバイオマーカー「心筋トロポニン I(cardiac troponin, cTnI)」の濃度の変化を捉えることが有効であり、濃度の経時変化を連続的に評価する方法が求められている。そこで、本研究では心筋トロポニン I(cTnI)のモニタリングを最終目標とし、高感度な「表面プラズモン増強蛍光(surface plasmon-enhanced fluorescence, SPF)センサ」およびその繰り返し計測を可能にするため、「pH 耐性を有する膜タンパク (ORLA85)を用いた感応部再生技術」を組み合わせることで、半連続免疫測定が可能な cTnI 用 SPF イムノセンサの開発を行った。

### 【実験方法】

cTnI 用 SPF イムノセンサは、励起光源 HeNe レーザー( $\lambda = 633 \text{ nm}$ )、直角プリズム、感応部となる Au 基板、ライトパイプ、蛍光検出器 Multi-Pixel Photon Counter (MPPC)にて構築した。レーザー光を Au 基板に入射し、表面プラズモンポラリトンの共鳴による増強場が発生し、センサ感応部付近の蛍光分子だけを選択的に励起することができることから、SN 比に優れた蛍光測定が可能である。そこで放出された蛍光を、フレネルレンズおよびフローセルとを一体化したアクリル製ライトパイプにて集光し、MPPCにて検出する。本ライトパイプは、アクリル円柱( $\phi 25 \text{ mm}$ ,  $20 \text{ mm}$ )側面に鏡面加工を施し、検出器側の端面にフレネルレンズを光学素子用接着剤にて接合し、送液孔( $\phi 1 \text{ mm}$ )を設けて作製した。また、フローセル( $8 \times 4 \times 0.2 \text{ mm}$ )は polydimethylsiloxane を用いて作製し、流路側のライトパイプ端面に装着しサンプルフロー系を一体化した。Au 基板は、ガラス基板上に Au 薄膜( $t: 44 \text{ nm}$ )と Ti 薄膜( $t: 3 \text{ nm}$ )をそれぞれスパッタ法にて成膜した。その後 Au 表面上に、優れた pH 耐性を有する ORLA85 の自己組織化単分子膜を形成し、ORLA85 の protein G 部に cTnI 用の補足抗体(cAb)を結合させ、BS(PEG)<sub>5</sub>による架橋にて固定化することで、SPF イムノセンサチップを作製した(図 1)。評価実験では、蛍光色素の定量範囲および SPF イムノセンサの基礎特性評価(cTnI の測定の感度・選択性)、感応部の再生による繰り返し測定での再現性などを調べた。

### 【結果及び考察】

本研究で構築した蛍光検出系では、高集光効率のレンズおよびフローセルと一体化したライトパイプを用い、蛍光色素(Alexa Fluor 647)の定量( $359 \text{ pM}$ – $1000 \text{ nM}$ )が可能であった。次に、構築した SPF イムノセンサにて cTnI の測定を行った結果、cTnI の定量( $3.9$ – $100 \text{ ng/ml}$ , 検出限界:  $0.98 \text{ ng/ml}$ )が可能で、一回の測定に要する時間は 30 分で、既存の enzyme-linked immunosorbent assay 法の 1/6 であった。なお、本センサは他の心筋マーカー(creatine kinase-MB, myoglobin)に対しては出力を示さず、cTnI のみに対して優れた選択性を示した。また glycine-HCl (pH 2)溶液のリンスによりセンサ感応部の再生が可能で、cTnI の繰り返し測定(C.V. = 1.8%,  $n = 5$ )が可能であった。

以上より、ORLA85 による感応部再生技術を組み合わせた SPF イムノセンサにより、PMI のバイオマーカーである cTnI の免疫モニタリングの可能性が示された。今後は、初期の心筋梗塞の診断に必要な感度 (cTnI の閾値:  $0.04 \text{ ng/ml}$ )を達成するため、センサの更なる高感度化を進める。

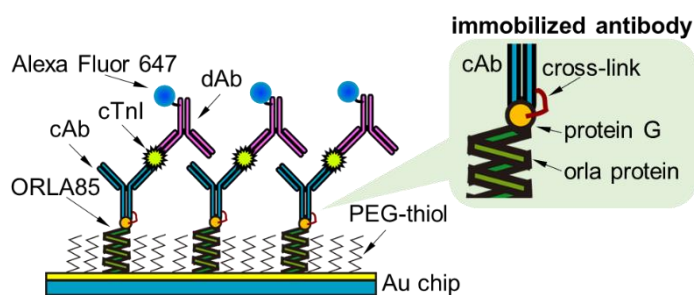


図 1 SPF イムノセンサチップの概略図

## 口腔物理情報を対象としたマウスピース型 IoT デバイスに関する研究

\*趙 干民、仁田 大揮（東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科）、春日 柚香（東京医科歯科大学歯学部）、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】

体温は古くから自身の異常を知り治療につなげる重要なバイタルサインである。体温測定は診察における第一歩であり、どのような疾患においても検温が行われる。しかしアルツハイマー病や認知症など、自身で継続的に体温を計測することが困難な状況において、体温を無意識にモニタリングし、健康状態を管理することは極めて意義が高い。もちろん直腸での深部体温に近い値を反映している腋下や口腔の温度を測定することが考えられるが、ヒトの体温分布は温度環境により大きく異なり、腋下では発汗や外気の影響を受けやすいため正確な体温を測定し難い。一方、口腔温は外気の影響が小さく、基礎体温を測定する場合、一般的に口腔温が用いられる。そこで本研究では口腔物理情報の一つである口腔温のモニタリングを目的として、「小型サーミスタ」、「計測回路」、「BLE 無線送信機」を組み込んだマウスピース (MP) 型 IoT デバイス、及び計測データの受信・蓄積のための tablet 用アプリケーション (application, APP) の開発を行い、口腔での IoT 体温計測へと適用した。

### 【実験方法】

MP 型デバイスの作製では、まず歯科模型をもとに作製したマウスピースの裏側に、一体化した「BLE 無線送信機付きサーミスタ」を固定した後、吸引型成型機を用いて 2 枚目のマウスピースを被せ、無線センサ装置をマウスピース材料にて包んだ(図 1)。その後、ヒートガンを用いて熱溶着することでセンサを密閉し、マウスピース型 IoT デバイスを作製した。本装置では、計測した電流値 (口腔温) を Android 端末へ BLE 無線通信にて送信可能である。端末 APP にて「マウスピース型センサとの通信」、「サーミスタ電流値から口腔温への変換」、「グラフ表示」を行い、データロガー機能を実装しており、計測値の記録も行う。実験では、マウスピース型デバイスを、被験者の左上顎の第二大臼歯頬側に搭載した状態にて、以下の計測を行った。①各温度(12, 50°C)の飲料水を摂取した際の温度変化、②トレッドミルにて時速 5 km で 15 分間歩行し、その後座位にて 40 分間安静とし、連続的に口腔内温度の計測、③開口呼吸、閉口鼻呼吸及び食後 30 分後の閉口鼻呼吸の各条件において、口腔温のモニタリングを行った。最後、対照実験として、モニタリングと同時に腋下体温計(MC-680, オムロン)により 10 分間の腋下の平衡体温を記録し、比較した。

### 【結果及び考察】

MP 型 IoT デバイスの基礎特性を評価した結果、室温から 50°C まで変化させた時の応答速度は 6.2 秒 (90% 応答) で、30 - 50°C の範囲でサーミスタの「温度 - 抵抗変換式」に基づく定量が可能であった。次に MP 型センサを装着した状態にて、①12°C、50°C の飲料水を摂取した際の温度はそれぞれ 20°C と 43°C に変化し、摂取後 10 分程度で初期温度に回復する様子が観察された。②歩行開始 10 分から著しく温度が上昇し、歩行停止 5 分から徐々に初期値へ回復した。また③昼食後の計測では、腋下温と同様に口腔温も上昇したため、口腔温のモニタリングが可能であった。なおサーミスタを MP に内包したことによる熱損失は十分に無視できると考えられ、マウスピース型 IoT デバイスによる日常生活での口腔温の連続計測の可能性が示唆された。

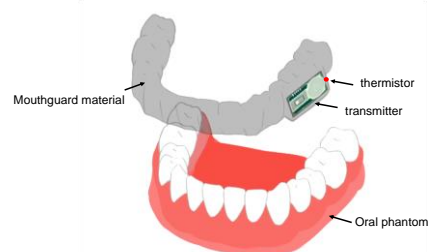


図 1. マウスピース型温度センサの概略図

## 基板バイアスを変化させて成膜した SmFe 薄膜の面内応力に及ぼす水素添加の影響

神谷 征人(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、片岡 竜一(東海大学工学部原子力工学科)、山田 拓海(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)、大野 聖海(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)、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)、\*\* 源馬 龍太(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・磁気的特性を有しており、各種の薄膜デバイスに利用されている。金属薄膜の特性は薄膜の面内応力に強く影響されることが知られており、面内応力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、成膜時の設定すべきパラメータが多くなる等の欠点があった。一方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濃度範囲において、おおよ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行った。

### 【実験方法】

本研究では、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。ターゲットは SmFe<sub>2</sub> のモザイク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~-180 V の範囲で任意の値に変え成膜を行い、面内応力の異なる薄膜試料を作製した。スパッタリングガスには Ar ガス (99.999%) を使用し、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、膜厚約 1  $\mu\text{m}$  なるよう成膜を行った。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、基板には単結晶 Si(100)(4.5 mm $\times$ 24.5 mm $\times$ 0.28 mm)を用いた。作製した Sm-Fe 薄膜に水素添加を行う方法として定電流電解法を用いて三電極法による水素添加を行った。対極として白金ワイヤー (純度 99.98%)、参照電極として銀-塩化銀電極を用いた。水素添加前および各水素添加ステップにおいて白色干渉顕微鏡を用いて膜厚及び曲率半径を計測し、これを Stony の式に適用し、面内応力の算出を行うとともにその水素添加量依存性について調べた。

### 【結果】

成膜時の基板バイアスを 0~-180 V とした時の、Sm-Fe 薄膜の面内応力の変化を Fig.1 に示す。Fig.1 から、Sm-Fe 薄膜の面内応力は基板に印加した電圧が深くなることで面内応力が圧縮応力方向へシフトしたのが確認できた。また、印加する電圧をさらに深くすることで面内応力が不連続に応力緩和することが確認できた。

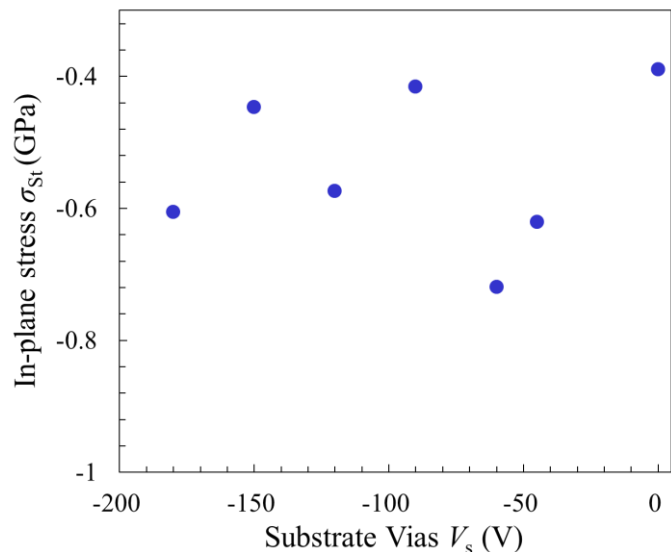


Fig.1 In-plane stress of Sm-Fe thin films on Si substrate as a substrate bias  $V_s$ .

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

\*林 諄真(東海大学大学院工学研究科源馬研究室)、中廣 駿太郎(東海大学大学院工学研究科源馬研究室)、\*\*源馬 龍太(東海大学材料科学科源馬研究室)

## 背景

近年、化石燃料使用による二酸化炭素濃度上昇によって地球温暖化現象が問題となっている。そこで大気中の二酸化炭素からメタンを生成することが考えられている。例として、サバティエ反応があげられる。しかし、この反応には高温高压状態が必要であるため、低温でのプロセスが求められる。先行研究において、水素と二酸化炭素の混合気体中で触媒を用いてボールミリングすることより低温低圧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、触媒として用いた LaNi<sub>5</sub> が相分離を起こし、また、炭酸化物などの反応物を生成していたため、本研究では薄膜試料を用いてメタン化を行なうことで相分離及び反応物生成の過程について表面分析法を用いて調べることを目的とした。

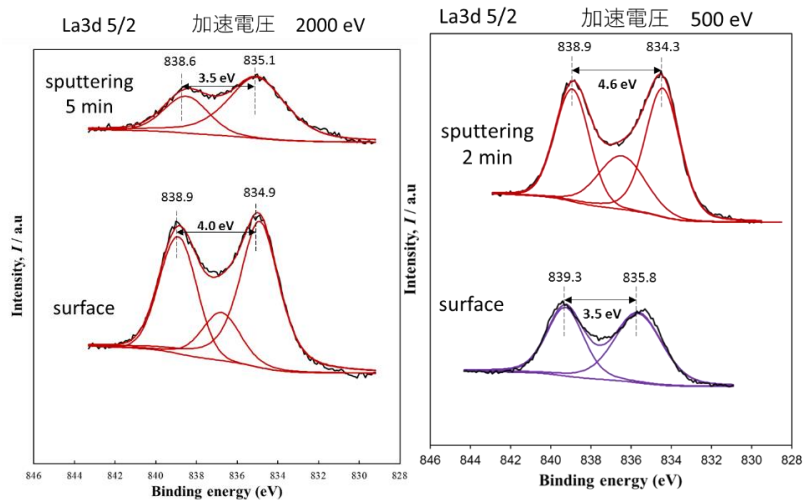
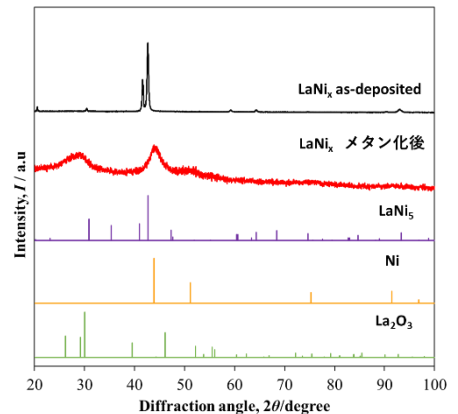
## 実験方法

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。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 : 30 ccm, 出力 : 50 W, スパッタガス圧 : 10 Pa)。作製した薄膜を用いて水素と二酸化炭素を 4 : 1 の割合で全圧 0.3 MPa になるように封入し 300 °C で実験を行なった。このときにガスクロマトグラフィーを用いてガス分析を行なった。実験後に試料を取り出し、XRD、SEM/EDX を用いて相の同定および組成分析を行い、最表面に存在する化合物について XPS、ToF-SIMS を用いて調査した。

## 結果及び考察

XRD 測定の結果を図 1 に示す。作製した La-Ni 薄膜の相の同定を行なったところ、LaNi<sub>5</sub> のピークと類似していることがわかった。また、EDX を用いて定量分析を行なったところ、La が 17 at% Ni が 60 at% であったことから、LaNi<sub>3</sub> に近い組成であることがわかった。この試料を用いてメタン化を行ない、その後の試料に対して再度 XRD 測定を行なった結果、Ni と La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> のピークが確認できたことから先行研究同様に相分離していることが本研究でも示唆された。

XPS の結果を図 2,3 に示す。La3d 近傍のスペクトルを確認したところ、実験前の薄膜の最表面では La の水酸化物が確認できた。しかし、実験後の結果では、炭酸化物が形成されていることがわかった。さらに ToF-SIMS の結果からも多くの炭酸化物が確認できた。このことから、La-Ni 薄膜と二酸化炭素との反応が大きく影響していることが示唆された。今後の展望として、混合ガスではなく、水素、二酸化炭素の単体ガスでの実験を行ない、比較を行うこととする。



## Ni 薄膜の面内応力に及ぼす基板バイアスの影響

\*片岡竜一(東海大学工学部原子力工学科)、神谷証人(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、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】

Ni 薄膜は優れた機械的特性、電気・磁気的特性を有しており、各種の薄膜デバイスに利用されている。Ni 薄膜の特性は薄膜の面内応力に強く影響されることが知られており、このため、面内応力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、スパッタ成膜により作製された Ni 薄膜の面内応力制御は、成膜時のスパッタ電力、基板温度、基板バイアスなどの成膜条件を変化させることにより行われてきた。だがこれらのパラメータは装置によって変化してしまう。我々は、イオン衝撃の効果を評価するパラメータとしてスパッタガスイオンの運動量の大きさとスパッタ粒子の入射頻度比に基づいてイオン衝撃パラメータ  $P_i$  を提案した。イオン衝撃により発生する真応力を評価することで磁歪薄膜の諸特性を制御することに成功している。また Ni 薄膜の面内応力は基板に対するイオン衝撃に大きく影響されると考えられる。そこで本研究では Ni 薄膜のスパッタ成膜時に基板バイアスをさらに深くすることで膜の面内応力を制御可能か検討を行った。

## 【実験方法】

本研究では、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。ターゲットは Ni(99.95%)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、0~90V 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、膜厚約 1  $\mu\text{m}$  で成膜を行った。基板から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、基板には単結晶 Si(100)(4.5 mm $\times$ 24.5 mm $\times$ 0.28 mm)を用いた。白色干渉顕微鏡を用いて膜厚及び曲率半径を計測し、これを Stony の式に適用し面内応力の算出を行った。

## 【結果】

Fig.1 に基板バイアス  $V_s$  に対する内部応力の変化を示す。Fig.2 にイオン衝撃パラメータ  $P_i$  に対する内部応力の変化を示す。イオン衝撃パラメータ  $P_i$  の増加に対して内部応力が引張方向へ変化していることがわかる。基板バイアスを用いることで、薄膜の磁歪感受率の制御ができる可能性があることが分かった。また、Fig.2 の結果からイオン衝撃の影響を定量的に評価することができ、目的に応じた応力を持つ薄膜作製が容易に行えると考えられる。

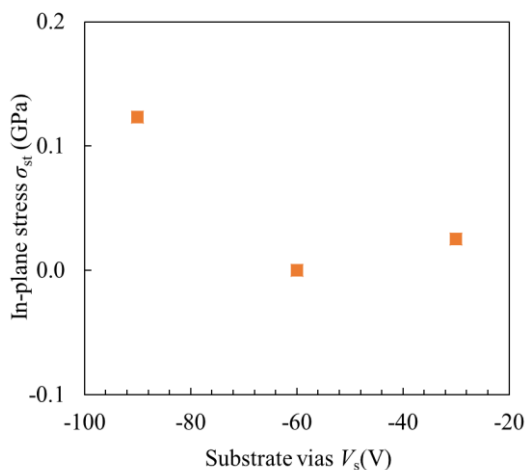


Fig.1 In-plane stress of Ni thin films on Si substrate as a Substrate bias  $V_s$ .

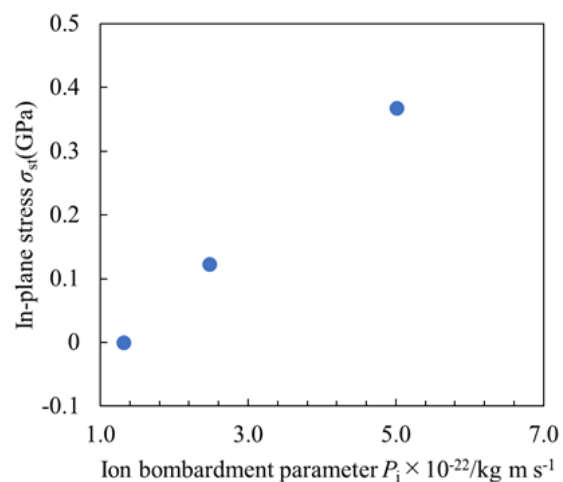


Fig.2 In-plane stress of Ni thin films on Si substrate as a Ion bombardment parameter  $P_i$ .



## 高周波スパッタにより低温形成した ITO 薄膜のポストアニール効果

\* 久瀬登雲（東海大学工学部電気電子工学科）、篠崎貴紀（東海大学工学研究科電気電子工学専攻）、  
\* \* 磯村雅夫、（東海大学工学部電気電子工学科）

### 1. 背景・目的

透明導電膜であるスズ添加酸化インジウム (ITO) は低い抵抗率と高い光透過率を有することから、ディスプレイや太陽電池などの光学デバイスにおける主要な材料の一つとして広く用いられている。ITO 薄膜の製膜法としてスパッタリング法が工業的に広く最も良く利用されているが、スパッタリング法で良好な特性を得るには高い製膜温度が必要であり、応用できる分野に制限があった。そこで、本研究では室温付近の低温のスパッタリングによって形成した ITO 薄膜をポストアニールを行うことで良質な特性を得ることを検討した。

### 2. 実験方法

RF マグネトロンスパッタ装置を用い、コーニング社製のイーグルガラス基板上に ITO 薄膜を製膜した。ターゲットは ITO、スパッタガスは Ar ガスを使用した。基板温度を室温 25°C、RF 電力 50W、Ar ガス流量 100ccm、スパッタ圧力 1Pa、製膜時間 4 時間で成膜し、製膜後に電気炉を用いてアニールを行った。アニール温度は 100~400°C の範囲で変化させた。4 探針ケーブルを用いて導電率を、分光光度計による透過率、反射率測定から光吸収係数の評価を行った。

### 3. 実験結果

図 1 は横軸をアニール温度、縦軸を導電率でプロットしたものである。250°C 以上の温度のアニールで導電性が向上した。これは、低温形成に起因するアモルファス構造のアニールによる結晶化に伴い、キャリア移動度が向上したためであると考えられる。このことからアニールは 250°C 以上の温度で行うことが効果的であると推測される。図 2 は各アニール温度時の光吸収率である。150°C までのアニールで広い波長範囲で大きく光吸収率が低下しており、結晶性向上による欠陥密度低減が短波長吸収率の低下を、キャリア密度の低下が赤外吸収率の低下を起こしていると思われる。それ以上の温度では再び赤外領域の吸収率が増加するが、導電率増加を伴うことからキャリア密度増加が赤外吸収率増加の要因であると思われる。350°C 以上では比較的低い赤外吸収率で高い導電率を示していることからアニール処理により移動度が向上することが示唆され、ポストアニールにより良好な ITO 特性を得ることができると考えられる。

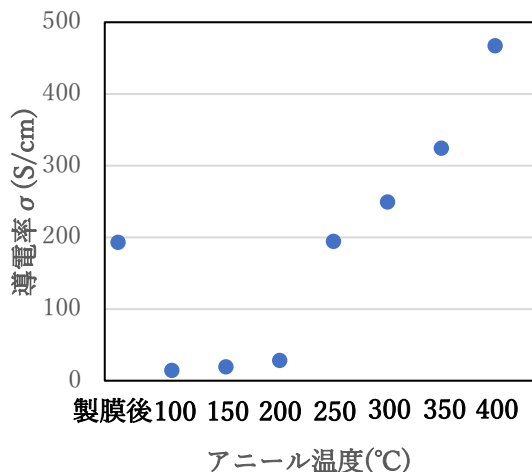


図 1 アニール温度に対する低温形成した ITO 薄膜の導電率変化

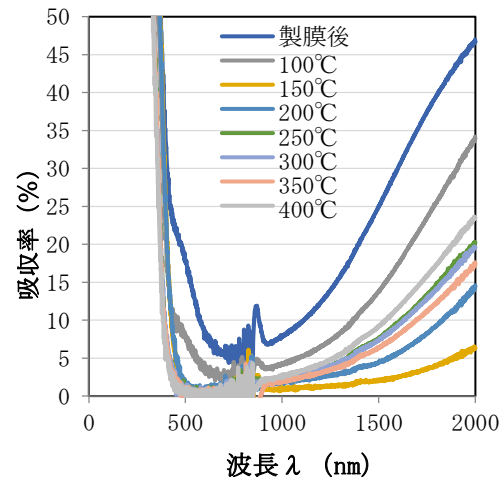


図 2 アニール温度に対する ITO 薄膜の光吸収率変化

## ホウ素過剰添加による TiB<sub>2</sub>系複合膜の超低摩擦特性発現温度の拡大

\*大和航(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻) \*\*神崎昌郎(東海大学工学部機械工学科)

### 1. 緒言

昨今、ステンレス鋼やチタン合金の優れた機械的特性から需要が増加している。しかし、これらの材料は切削時に加工点が高温となることで溶着が生じる難削材である。そのため、高効率加工時は切削油を加工点に流す必要がある。切削油の廃棄処理は大きな環境負荷を与えることから、本研究は切削油を用いずに高耐熱性と低摩擦特性を有するコーティング剤を用いたコーテッド工具による高効率難削材加工技術の確立を目指している。

これまでの研究において 200 °C で摩擦係数 0.01 を示す TiB<sub>2</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜を開発した。この低摩擦現象の発現可能温度を把握するため、複合膜に加熱処理を施したところ 400 °C まで超低摩擦特性を維持したが 500 °C で喪失した。この時ホウ素が脱離していたことからホウ素を過剰添加し、脱離を抑制することで加熱処理温度 500 °C での超低摩擦特性発現を目指した。

### 2. 実験方法および実験結果

TiB<sub>2</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜は DC マグネトロンスパッタリング法にて TiB<sub>2</sub> ターゲットと MoS<sub>2</sub> ターゲットを用いて形成した。本実験では TiB<sub>2</sub> に対して 10~30 wt.% のホウ素を過剰添加したターゲットを用いて TiB<sub>2+α</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜を創製した。複合膜の元素組成を X 線光電子分光法にて評価した。Table 1 に形成した TiB<sub>2+α</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜の組成を示す。これらの複合膜は B/Ti 比より TiB<sub>2</sub>-MoS<sub>2</sub>、TiB<sub>3.1</sub>-MoS<sub>2</sub>、TiB<sub>3.7</sub>-MoS<sub>2</sub>、TiB<sub>4.7</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜と記す。これらの複合膜で試験温度 200 °C、摺動速度 30 mm/s のボールオンディスク式摩擦摩耗試験を実施したところ摩擦係数 0.05 を下回る超低摩擦特性が発現した。

TiB<sub>2+α</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜を 500 °C で 60 分加熱した。Table 2 に加熱した TiB<sub>2+α</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜の組成を示す。加熱後において TiB<sub>4.7</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜のみホウ素を含有していた。

Fig.1 に加熱後における TiB<sub>2+α</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜の摩擦係数を示す。加熱した TiB<sub>2+α</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜に摩擦摩耗試験を実施したところ、加熱後の TiB<sub>2</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜は摩擦係数 1.0 を上回ったが、TiB<sub>4.7</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜は摩擦係数 0.05 以下を安定して示し、超低摩擦特性を発現した。このことから更なる高温環境においてもホウ素を含有することで超低摩擦特性を発現することは可能であると考えられる。

Table 1 Composition of TiB<sub>2+α</sub>-MoS<sub>2</sub> composite films

Target	Composition (at.%)					
	Ti	B	Mo	S	O	B/Ti
TiB <sub>2</sub>	17	42	23	13	5	2.0
TiB <sub>2</sub> +10wt.%B	15	44	23	13	5	3.1
TiB <sub>2</sub> +20wt.%B	13	48	22	13	4	3.7
TiB <sub>2</sub> +30wt.%B	11	52	22	12	3	4.7

Table 2 Composition of TiB<sub>2+α</sub>-MoS<sub>2</sub> composite films after heating at 500 °C

	Composition (at.%)					
	Ti	B	Mo	S	O	B/Ti
TiB <sub>2</sub> -MoS <sub>2</sub>	17	0	23	0	60	0
TiB <sub>3.1</sub> -MoS <sub>2</sub>	15	0	23	0	62	0
TiB <sub>3.7</sub> -MoS <sub>2</sub>	13	0	22	0	64	0
TiB <sub>4.7</sub> -MoS <sub>2</sub>	11	8	22	3	53	0.7

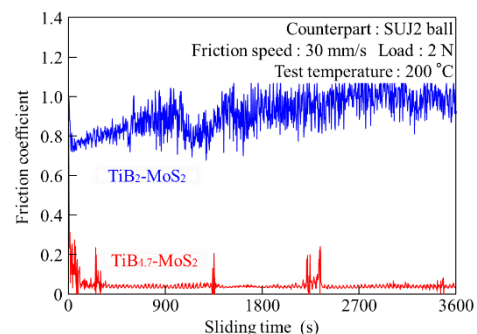


Fig.1 Friction coefficient of TiB<sub>2+α</sub>-MoS<sub>2</sub> composite films after heating at 500 °C

### 3. 結言

本研究では TiB<sub>2</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜にホウ素を過剰添加することで超低摩擦特性発現温度の拡大を目指した。その結果、本実験で創製した TiB<sub>4.7</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜は加熱後もホウ素を含有し、超低摩擦特性を発現した。このことから複合膜は加熱後もホウ素を含有することで超低摩擦特性を維持可能と考えられる。今後は TiB<sub>4.7</sub>-MoS<sub>2</sub> 複合膜を工具に成膜し、難削材加工時の加工精度を評価することで複合膜による高効率難削材加工が可能となる切削可能距離を評価する。

## 電気化学的水素ローディングが磁歪薄膜に及ぼす影響

\*大野 聖海(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)、  
神谷 征人(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、源馬 龍太(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】

磁歪材料とは材料に磁界を加えると磁化し、伸縮する特長を有するものであり、一般的な変位量と比べ数万倍規模で大きいものは特に、超磁歪材料と呼ばれている。またそれを薄膜化した磁歪薄膜はマイクロアクチュエータ材料や振動発電材料として注目されている<sup>[1]</sup>。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。密着性を評価する手法として物理的に外力を加える方法があるが、これは薄膜の内部応力への影響まで考慮されていない。このような中、室温下で水素を電気化学的に導入する手法が薄膜の内部応力を圧縮方向に制御するのに有効であることが確認されている<sup>[2]</sup>。一般に金属は水素原子が固溶することで、その水素吸蔵量に比例して体積は膨張する。金属薄膜の場合、面内方向への体積膨張は基板に拘束されるため、線形弾性論により面内方向で圧縮応力が生じる。薄膜試料では膜厚および電気化学的水素ローディングで溶液に浸した部分の表面積が既知の値となるため、各水素量における内部応力を正確に知ることができる。

以上より本研究では、ガラス基板に Ni を成膜し、電気化学的に厳密に制御した水素量の導入が薄膜の内部応力に与える影響について調査することを目的とする。

## 【実験方法】

DC マグネトロンスパッタリング法を用いて、ガラス基板(Matsunami Glass Ind.,Ltd, 硼珪酸ガラス<sup>[3]</sup>)上に Ni 薄膜を成膜した。スパッタガスとして Ar(純度 99.999%)ガスを用い、成膜時のスパッタ雰囲気は Ar ガス圧を  $1.0 \times 10^{-1}$  Pa とした。スパッタ電力は 60W、基板温度は室温とし、Ar ガス導入前の到達真空度を  $1.0 \times 10^{-4}$  Pa とした。またターゲット表面の清浄化のためプレスパッタを 10 分間行った。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、定電流パルス負荷における電気化学的な水素ローディングを行った。水素濃度の算出には Faraday の式<sup>[4]</sup>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<sup>[5]</sup>に適用し、Ni 膜の内部応力の算出を行った。ただし、内部応力  $\sigma$  の正の値が引張応力に相当するとし、ガラス基板の厚さは 0.13~0.17mm の平均値 0.15mm を使用した。

## 【実験結果および考察】

Faraday の式より算出した水素濃度  $C_H$  を横軸に、Stoney の式より内部応力  $\sigma$  を縦軸にとりプロットしたグラフを Fig.1 に示す。水素濃度  $C_H$  が大きくなるにつれ、薄膜の内部応力  $\sigma$  が圧縮方向に進んでいるのが確認できた。またガラス基板上の Ni 膜に対して水素ローディングを行った。その前後における XRD のピーク図を Fig.2 に示す。Fig.2 より  $2\theta = 44.5^\circ$  付近に Ni(111) の回折ピークが確認さ

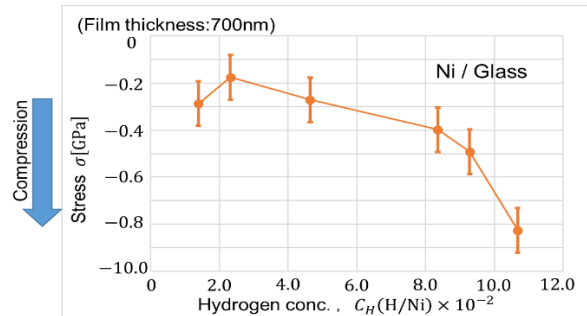
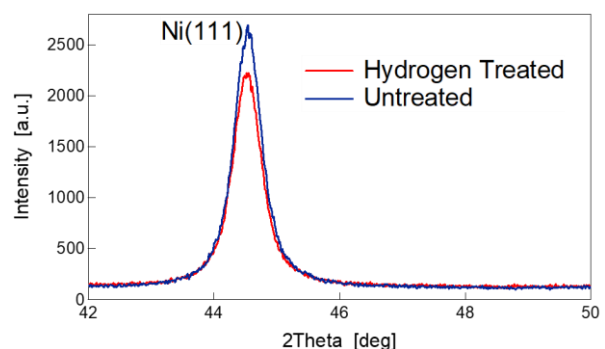
Fig.1 水素濃度  $C_H$  と内部応力  $\sigma$  の関係

Fig.2 X線回折装置による分析結果

れた。また未処理の試料に対して水素ローディング後のピークが低角側にシフトしていることが確認できた。これは前述した通り、Ni膜に水素が導入されたことにより、膜は膨張しようとするが基板に拘束されているため、試料内部に面内圧縮応力が生じ、垂直方向に歪みが生じたためであると考えられ、このような内部応力状態の違いは磁歪薄膜とした場合には磁歪特性に影響を与えるものと考えられる。

## 【参考文献】

- [1] 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/) (2020年10月14日参照)
- [2] H.T. Uchida, S. Wagner, M. Hamm, J. Kürschner, R. Kirchheim, B. Hjörvarsson, and A. Pundt, "Absorption kinetics and hydride formation in magnesium films: Effect of driving force revisited", *Acta Mater.*, **85**, p.279-289, (2015).
- [3] 松浪硝子工業株式会社, [www.matsunami-glass.co.jp/electron/about.html](http://www.matsunami-glass.co.jp/electron/about.html) (2020年10月14日参照)
- [4] R. Kirchheim, "Hydrogen solubility and diffusivity in defective and amorphous metals", *Prog. Mater. Sci.*, **32**, (1988), 261-325.
- [5] G.G. Stoney, "The Tension of Metallic Films Deposited by Electrolysis", *Proc. Roy. Soc. London* **82**, (1909), 172-175.

## ブラシレス DC モータの駆動方式による効率の比較に関する研究

\*福江 祥充(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻) \*\*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

本研究の目的は、パワートレインの高効率化である。

### 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制御方式の方向性を見出す。

### 4. 解析内容

図 1 に本研究で対象とする 12 極 18 スロットのアウターロータモータの 3D 解析モデルを示す。モータモデルの構築を行い、矩形波と正弦波におけるモータの損失解析を行った。解析には JMAG を用いた。

### 5. 解析結果

図 2 に正弦波駆動時の効率から矩形波駆動時の効率を減じた結果を示す。図 2 より対象モータにおいては正弦波駆動の効率が矩形波駆動より最大約 2pt 高くなっていることがわかる。したがって、モータの効率だけを考慮すると正弦波駆動の方が高効率となる。

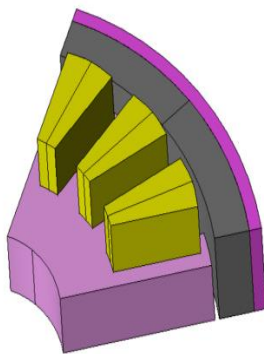


図1 モータモデル

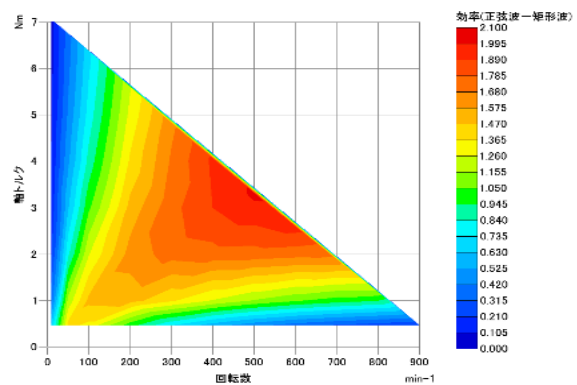


図2 正弦波駆動と矩形波駆動のモータ効率の差

### 6. 今後の課題

パワートレインとしての効率を評価するため、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。

### 参考文献

榛葉 実 “Mathematica による通信工学” 東京電機大学出版 (2000/9/10)

同一仕様・形状の異なる永久磁石同期機の面内渦電流損失の比較に関する研究

\*川上 光太郎、平山 武尚(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)

\*\*大口 英樹(東海大学工学部電気電子工学科)

1. はじめに

世界の総消費電力のうち、モータが占める割合は 40～50%とされている。エネルギー消費効率の向上と普及促進を目的として、1999年に「トップランナー制度」が導入された。この制度では、モータ効率の基準が定められており、基準を満たすためにより高効率なPMモータが適用され始めている。

2. 研究の目的と課題

本研究の目的は、大型化や材料のグレードアップをせず、回転機の高効率化を実現することである。本研究では損失の内、面内渦電流損失に着目した。

本研究の課題は、5.2 kW、6極 36スロットの検討機につき、同一仕様かつ回転子形状の異なるモデルの面内渦電流損失を電磁界解析により明確にし、回転子形状の影響を明らかとすることである。

3. 研究内容

Fig.1(a)は基準となるモデル(Model A)、(b)は回転子形状を変更したモデル(Model B)を示す。固定子鉄心形状は両者同一とし、回転子の磁石位置と巻線仕様を異ならせた。解析に用いた電流波形は正弦波とPWM電流とした。これら電流波形を入力として、電磁界解析により面内渦電流損失を求めた。

なお、インバータ駆動時の電流のシミュレートにはPSIMを用い、電磁界解析にはJMAGを用いた。

4. 結果

Fig.2(a)は Model A の、(b)は Model B の面内渦電流損失解析結果を示す。考察を以下に述べる。

- (1) 面内渦電流損失は、正弦波に対し PWM 電流の方が Model A は約 1.7 倍、Model B は約 3.2 倍に増加した。これは、PWM 電流に含有されるインバータのキャリア高調波成分による損失が無視できないためと考えられる。
- (2) PWM 電流においては、Model B の面内渦電流損失は Model A の約 1.6 倍となった。これは、回転子形状の変更に伴い巻線仕様が変わり、インダクタンスが変化したためと考える。

5. 今後の課題

今後の課題は以下である。

- (1) 面内渦電流損失のインダクタンス依存性の明確化
- (2) 回転子鉄心の面内渦電流損失の明確化

[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)

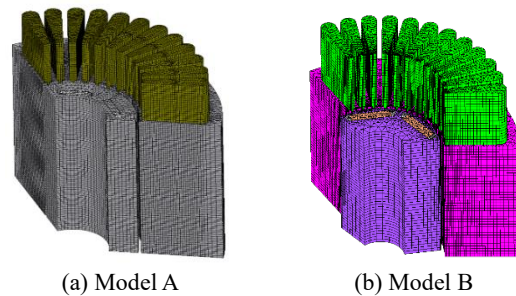


Fig.1. Finite element model.

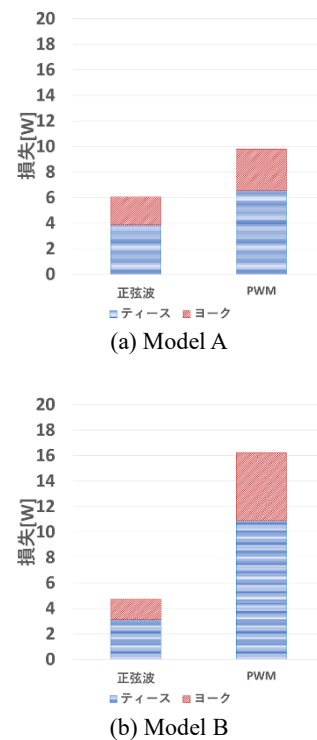


Fig.2. 面内渦電流損失の解析結果

永久磁石と直流界磁巻線を用いたハイブリッド界磁形同期機に関する研究

\* 鈴木寛隆, 平山武尚(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)  
 \*\* 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、様々な機械に永久磁石モータ (PM モータ) が採用されており適用例として自動車が挙げられる。近年、自動車用 PM モータの高効率化を実現するべく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。可変磁束モータの1つであるハイブリッド界磁形同期機は、永久磁石と直流界磁巻線により界磁磁束を得ることができモータ運転中に電機子鎖交磁束を調整可能となり、低速域での電流低減を実現できる可能性がある。本研究の目的は、電気学会調査専門委員会の D モデルモータをベースとしたハイブリッド界磁形同期機のモデルを構築し解析を行うことで、特性を明確にすることである。

2.モデル構築および解析条件

構築した D モデルモータおよびハイブリッド界磁形同期機のモデルを Fig.1, Fig.2 に示す。電磁界解析ソフト JMAG を用いてモデル構築および解析を行った。解析条件を Table1 に示す。

3.結果

D モデルモータおよびハイブリッド界磁形同期機の解析結果を Fig.3, Fig.4, Fig.5, Fig.6 にそれぞれ示す。Fig.3 に界磁電流を流した際の誘起電圧, Fig.4 に 800AT 時の誘起電圧波形, Fig.5 に dq 軸インダクタンス, Fig.6 に電流 3A<sub>rms</sub> 一定とした時の電流位相-トルク特性をそれぞれ示す。結果、ハイブリッド界磁形同期機の界磁巻線の界磁電流が増加していくにつれて誘起電圧が増加し可変磁束モータとして動作することを確認した。また、D モデルモータと同等の誘起電圧を得られた反面、Ld が増加し Lq が低下したことによりトルクが低下することが明らかとなった。

4.今後の課題

今後の課題は、ハイブリッド界磁形同期機の回転子に位置する永久磁石の配置を1から検討し、また詳細な電気設計を行うことで D モデルモータと同トルクを得られるようにすることである。また、低速域での電流低減を実現する同期機の検討を行う。

参考文献

(1)水野孝之, 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」

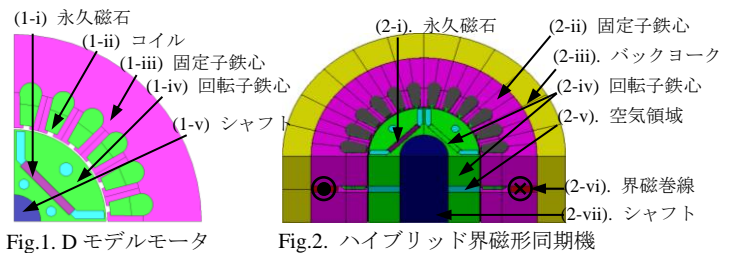


Fig.1. D モデルモータ Fig.2. ハイブリッド界磁形同期機

Table1 解析条件

種類	条件	巻数	入力電流	周波数	界磁電流	
Dモデルモータ	無負荷	140 turn	4.24 A	50 Hz	0~1000 AT	
	負荷					
ハイブリッド界磁形同期機	無負荷		4.24 A	50 Hz		800 AT
	負荷					

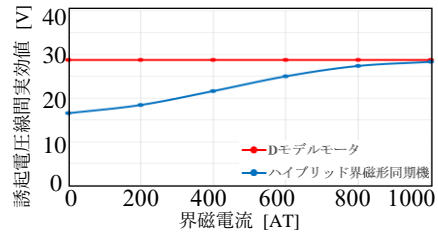


Fig.3. 界磁電流を流した際の誘起電圧

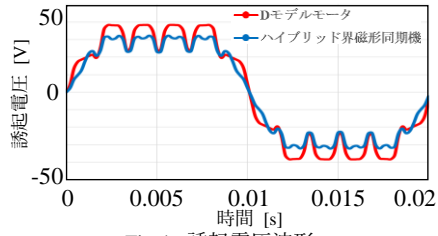


Fig.4. 誘起電圧波形

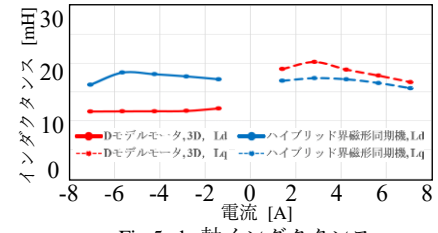


Fig.5. dq 軸インダクタンス

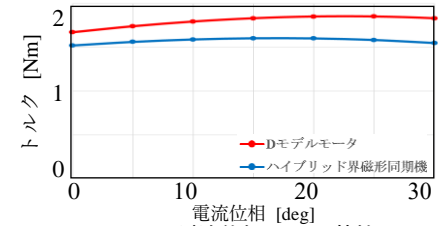


Fig.6. 電流位相-トルク特性

永久磁石同期機の面内渦電流損における出力依存性に関する研究

\*平山武尚, 川上光太郎(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)

\*\*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% を占めているといわれており、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 4 つに分けられる。

PM モータは一般的には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. 目的

漂遊負荷損の一つである鉄心端部で発生する面内渦電流損を定格出力 5.2 kW と 52 kW の定格出力差 10 倍の永久磁石同期機で比較し、定格出力における面内渦電流損の出力依存性を明らかにする。

3. 研究内容

Table1 に定格 5.2 kW 及び 52 kW の 6 極 36 スロットの永久磁石同期機の仕様を示す。電流は正弦波とキャリア周波数 5 kHz の PWM インバータで駆動したときのシミュレーション電流とし、両モデルに定格電流を通電した際の面内渦電流損を電磁界解析により求めた。ここで、電磁界解析には JMAG を、回路解析には PSIM を用いた。

面内渦電流損を解析するにあたり、三次元解析を行う必要があり、三次元モデルを構築した。三次元モデルを Fig. 1. に示す。面内方向にカタログの導電率、積層方向では安定収束の目的で 1/5000 の値を入力し、面内渦電流損を求めた。

4. 結果と今後の課題

Fig. 2. に定格 5.2 kW モデルの面内渦電流損、Fig. 3. に定格 52 kW モデルの面内渦電流損を示す。定格 5.2 kW の面内渦電流損は正弦波電流では定格出力を基準として約 0.1% (4.7W)、PWM インバータ駆動では定格出力を基準として約 0.3% (15.1W) 発生し、定格 52 kW の面内渦電流損は正弦波電流では定格出力を基準として約 0.5% (237.7W)、PWM インバータ駆動では定格出力を基準として約 1.1% (576.4W) 発生することが明らかになった。2 つのモデルの出力差は 10 倍であるものの、面内渦電流損は正弦波電流で約 50 倍、PWM インバータ駆動で約 38 倍と、面内渦電流損は定格出力の比に対して大幅に増加した。

定格 52 kW ではロータコアで発生する面内渦電流損も求めた。ロータコアではティースやヨークと比べて小さいものの、PWM インバータ駆動で定格出力を基準として約 0.03% (15.6W) の面内渦電流損が発生していることが明らかになった。

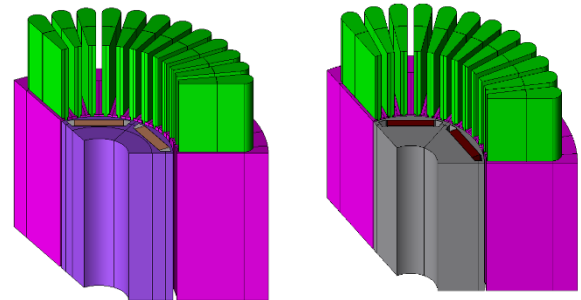
今後の課題として、面内渦電流損が出力比以上に増加する原因の究明およびその低減が挙げられる。

[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. 45. 22-45. 27 (2019)

Table1 モータの仕様

パラメータ	定格 5.2 kW	定格 52 kW
極数、相数	6極, 3相	
定格回転数	2000 r/min	
定格電流	28A	276A
スロット数	36	
スタターコア外径	142 mm	307 mm
積厚	142 mm	307 mm
磁石	Nb-Fe-B 焼結磁石, Br=1.2T	
鉄材料	50A400	



(a) 定格 5.2 kW モデル (b) 定格 52 kW モデル

Fig. 1. 三次元モデル

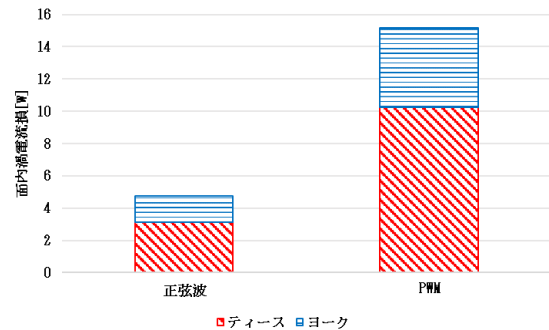


Fig. 2. 定格 5.2 kW モデル面内渦電流損

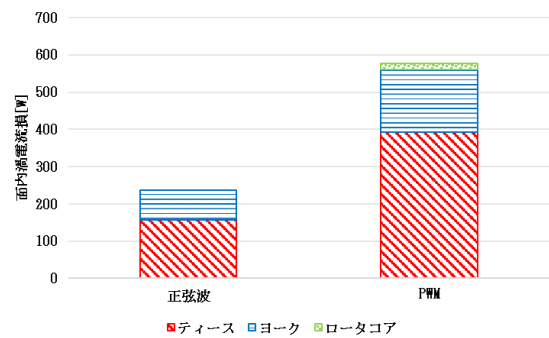


Fig. 3. 定格 52 kW モデル面内渦電流損

## ギターの音色の電氣的分析に関する研究

\*田中萩乃(神奈川県立大学電気電子情報工学科)、服部凪夏(神奈川県立大学電気電子情報工学科)、

\*\*板子一隆(神奈川県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。

本研究ではこれまでに新しく提案した評価係数を用いて音色を定量的に評価する検討を行ってきた<sup>(1)</sup>。そこで、今後は音色の評価をシステム化することを最終目標とし、その一部である音源から1周期分のデータを抽出する方法を検討した。

### 2. 周期検出方法

図1に開発システムのご概念図を示す。自動でFFTを行うためには振動波形から1周期を抽出する必要がある。そこで、以下に周期検出法を示す。図2に周期検出の原理図を示す。時間軸波形のコピーを作り、ずらしながら重ね、元の波形とのずれが小さくなる時間 $t_s$ [s]を周期 $T$ とする。ずれの大きさ $E(t_s)$ は(1)式に示すように、 $t=t_s \sim t_{end}$ までの誤差の2乗を積分し、積分区間の時間で除した平均値で表す。

$$E(t_s) = \frac{1}{t_{end} - t_s} \int_{t_s}^{t_{end}} \{V(t) - V(t+t_s)\}^2 dt \quad \dots (1)$$

ただし、 $t_s$ はシフト時間、 $t_{end}$ は解析時間である。この値が小さくなるほど元の波形とシフトさせた波形とのずれが小さい。したがって、 $E(t_s)$ が限りなく0になる $t_s$ を周期 $T$ と見なす。

### 3. 実験結果

量産型ギターの4弦を用いて(1)式をExcelのマクロ機能を利用して計算した結果を図3に示す。元の波形 $V(t)$ より読み取った周期 $T$ は $6.85 \times 10^{-3}$ (s)、 $E(t_s)$ より推定される周期 $T'$ は $6.80 \times 10^{-3}$ (s)である。誤差率は0.95%と十分に正確な周期検出が可能であることが確認された。

### 4. あとがき

以上より、入力信号から1周期分のデータを取り出すことができた。今後は、FFTを用いた倍音解析を行うことで音色の物理特性を表し、音色の定量的な評価を行うシステムを構築する予定である。

(1)2019 SAS Symposium, No. H-1

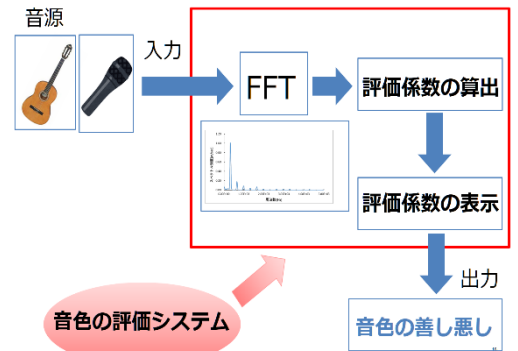


図1 開発システムのご概念図

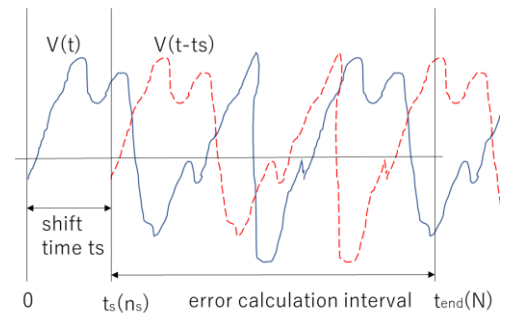


図2 周期検出の原理図

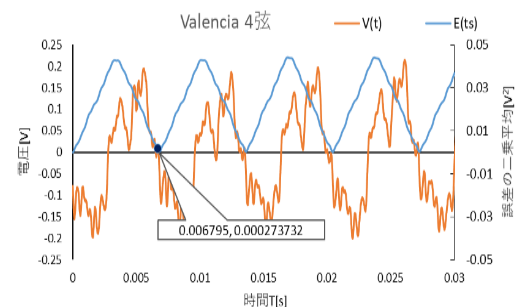


図3 周期検出 4弦



交通規制を報知するシステムの開発

\*清水 祐輝(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、\*\*佐川耕平(東海大学工学部電気電子工学科)、\*\* 木村英樹(東海大学工学部電気電子工学科)

【目的】

近年、自動車の自動運転に注目が集まっている。自動車が目的地まで自立した走行をすることによりドライバーの負担削減によって事故を減らすことに期待されている。そのためには、交通規制の情報を的確に収集する必要がある。現在では、車載カメラによって周囲の状況を判断するシステムの開発がされている。しかしながら、車載カメラによって情報を収集できない場合も考えられる。そこで本研究では、交通法規の位置座標データベースと現在地の GPS によって取得した位置座標をもとに交通規制を遵守するための報知システムを開発することを目的とした。このシステムを用いて公道で実証実験を行ったので報告する。

【システム概要】

報知システムは車載 PC の画面上に示させ、ドライバーへ交通規制の情報を伝達する。交通規制がある地点のデータは事前に走行ルートを走行して取得した。Fig. 1 にシステムの GUI(Graphical User Interface)を示す。画面上には現在地から 5 つ先までの交通規制と次の追い越し禁止区間と区間の長さを報知する。実証実験を行った公道は、交通規制の変化が少ないことから 5 つでも十分であると判断した。

システムを構築するためのプログラミング言語は python2 系と C#を用いた。python2 系はライブラリが豊富であり GPS で取得したデータを距離に変換させるためには適切であると判断したためである。また、GUI を開発するために C#を用いた。python2 系では PC での負担が大きくなり処理の遅延が多く発生したため、C#で GUI を制作することにより処理の遅延も少なく、さらに視覚的に開発できたことから製作期間も短くすることができた。

交通規制の地点は GPS の処理速度、誤差および走行速度を考慮して半径 11m 以内に進入したことを確認できたら次の交通規制を表示させるようにした。また、交通規制を通りすぎた後も次の交通規制へ切り替わらなかった場合は強制的に移行できる処理を用意した。Fig. 2 にシステムフローを示す。

【結果】

報知システムの実証実験を開始した 2016 年から 2019 年の間に約 1 万 4000km 走行したが、一度も交通規制違反をすることはなかった。このため、このシステムは有効であると考えられる。今後は事前の下見で画像解析を活用することで自動的にデータ化できるようにしたい。



Fig. 1 システム GUI

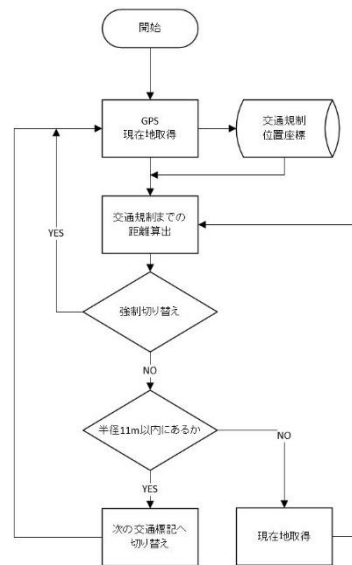


Fig. 2 システムフロー

SAS 団体会員 (2020 年度)

(50 音順)

株式会社 オーネックス

株式会社 オプトニクス精密

オリエンタルエン지니어リング株式会社

関東冶金工業株式会社

旭東ダイカスト株式会社

株式会社 極東窒化研究所

島崎熱処理株式会社

株式会社 昭和真空

第一熱処理工業株式会社

岳石電気株式会社

株式会社 巴商会

日鍛バルブ株式会社

日本ベルパーツ株式会社

パーカーS・N 工業株式会社

株式会社 山本科学工具研究社

計 15 社

## **2020 SAS Symposium ABSTRACTS**

令和2年11月12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

© 2020 Society of Advanced Science