

36th

2024 SAS Symposium

ABSTRACTS



日 時 : 2024年11月14日(木)、15日(金) 10 : 00～16 : 00

会 場 : 東海大学湘南キャンパス17号館2階 ネクサスホール

主 催 : SAS (Society of Advanced Science)

後 援 : 工学研究科

36th 2024 SAS シンポジウム スケジュール

11月14日（木）		
9:00	開場	受付開始 ポスター掲示:ポスターは、1日目に掲示してください。
9:45	シンポジウム開会式	開会挨拶 実行委員長：庄先生（SAS 副理事長） ※参加者の方は、原則、ご出席下さい
10:00～ 12:00	ポスターセッション 1 A-7件、B-5件 C-1件、F-6件 (19件)	座長：庄先生、源馬先生 ※左記の時間帯、発表者は説明と質疑応答をお願いします。 希望者には、予稿やプレプリントの配布をご検討ください。
休憩		
13:30～ 15:30	ポスターセッション 2 A-7件、B- 7 件 F- 4 件、H-2件 (20件)	座長：渋谷先生、遠藤先生 ※左記の時間帯、発表者は説明と質疑応答をお願いします。 希望者には、予稿やプレプリントの配布をご検討ください。
16:00	第1日目 終了	

36th 2024 SAS シンポジウム スケジュール

	11月15日(金)	
9:30	開場	受付開始 ポスター掲示 (1日目掲示できなかったポスターを掲示してください。)
10:00～ 12:00	ポスターセッション3 A-9件、C-3件 E-4件、G-4件 H-4件 (24件)	座長：小栗先生、富田先生 ※左記の時間帯、発表者は説明と質疑応答をお願いします。 希望者には、予稿やプレプリントの配布をご検討ください。
	休憩	
13:30～ 15:30	ポスターセッション4 A-7件、C-5件 D-1件、F-4件 G-4件、H-3件 (24件)	座長：宮沢先生、利根川先生 ※左記の時間帯、発表者は説明と質疑応答をお願いします。 希望者には、予稿やプレプリントの配布をご検討ください。
15:30	シンポジウム閉会式	ポスター賞候補発表 庄先生 閉会挨拶 宮沢先生(SAS 理事長) ※参加者の方は、原則、ご出席下さい
	閉会式終了後、ポスターの撤収をお願いいたします。	
	会場の撤収	
17:00	閉室	

36th 2024 SAS シンポジウム実行委員会組織

(五十音順、敬称略)

2024年度実行委員長	庄 善之	東海大学 工学部 電気電子工学科/SAS副理事長
現地運営委員長	渋谷 猛久	東海大学 理系教育センター/SAS事務局長
実行委員	宮沢 靖幸	東海大学工学部機械工学科/SAS理事長
実行委員	天野 忠昭	SASテクニカルセンター 長
実行委員	板子 一隆	神奈川工科大学 工学部 電気電子情報工学科
実行委員	内田 ヘルムート 貴大	東海大学 工学部 機械工学科
実行委員	遠藤 隆士	SAS事務局
実行委員	大塚 隆生	第一熱処理工業株式会社
実行委員	小栗 和也	東海大学 教養学部 人間環境学科
実行委員	神田 輝一	関東冶金工業株式会社
実行委員	神田 昌枝	中部大学 工学部 宇宙航空理工学科
実行委員	木村 達洋	東海大学 文理融合学部 人間情報工学科
実行委員	木村 誠	岳石電機株式会社
実行委員	源馬 龍太	東海大学 工学部 応用化学科
実行委員	新屋敷 直木	東海大学 理学部 物理学科
実行委員	利根川 昭	東海大学 理学部 物理学科
実行委員	富田 恒之	東海大学 理学部 化学科
実行委員	松村 義人	前 東海大学 工学部 原子力工学科
実行委員	宮本 泰男	SASテクニカルセンター

36th2024 SAS シンポジウム 題目一覧
 会期 2024年11月14日(木)、15日(金) 10:00~16:00
 会場 東海大学湘南キャンパス17号館2階 ネクサスホール

*発表者 **指導教員 ・P応募：ポスター賞エントリー

(A) 材料工学 (ナノテク、有機・高分子 含む)			
14(木)	セッション1	A-01・P応募	Ni基箔状ろう材を用いたステンレス鋼の低温ろう付 **蔦林育美(東海大学工学部材料科学科)、久保田空(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、**宮沢靖幸(東海大学工学部機械工学科)
15(金)	セッション4	A-02・P応募	アルミニウム合金の低温ろう付 大畑陽平(東海大学工学部材料科学科)、宮沢靖幸教授(東海大学工学部機械工学科)
15(金)	セッション3	A-03・P応募	黄銅/ステンレス鋼ろう付時のBiの挙動解析 *鈴木光河(東海大学 工学部 材料科学科)・植松菜々子(東海大学 工学研究科 応用理化学専攻)・宮沢靖幸(東海大学 工学部 機械工学科)
15(金)	セッション4	A-04・P応募	セラミックス表面へのメタライズ層の形成と評価 *栗田大輝(東海大学工学部材料科学科)、福壽信人(東海大学工学研究科応用理化学専攻) 宮沢靖幸(東海大学工学部機械工学科)
14(木)	セッション1	A-05・P応募	SUS304製リングの急熱による表面の熱色変化について *後藤大介(東海大学工学部精密工学科)、共同研究者吉田将樹(東海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)、内田ヘルムート貴大(東海大学工学部精密工学科)
15(金)	セッション3	A-06・P応募	異種カチオン置換によるEr,YbドーブGd ₂ O ₃ 赤色発光アップコンバージョン蛍光体の高輝度化 *保科俊輔(東海大学 理学部 化学科)、眞壁恒成(東海大学 理学部 化学科)、寺島那哉(東海大学 理学研究科 化学専攻)、**富田恒之(東海大学 理学部 化学科)
15(金)	セッション3	A-07・P応募	青色LED励起に向けたY ₂ O ₃ :Eu ³⁺ 赤色蛍光体へのランタノイド置換 *飯田智大(東海大学 理学部 化学科) *志村慶太(東海大学 総合理学研究科) **富田恒之(東海大学 理学部 化学科)
14(木)	セッション2	A-08・P応募	FEMおよび画像解析を用いた高分子フィルム搬送時における波しわの有効性評価 *後藤宏弥(東海大学 工学研究科 機械工学専攻) **砂見雄太(東海大学 工学部 機械システム工学科)
15(金)	セッション3	A-09・P応募	pn接合構造を用いたSWCNT膜による デバイスの開発・性能評価 *玉井涼太(東海大学 工学研究科 応用理化学専攻) **高尻雅之(東海大学 工学研究科 応用理化学専攻)
14(木)	セッション1	A-10	ディスペンサを用いたCNT系の作製 *内田圭祐(東海大学 工学部 材料科学科) **高尻雅之(東海大学 工学部 応用化学科)
14(木)	セッション2	A-11・P応募	CNTを用いた熱流センサの考案・製作 *中山大翔(東海大学 工学部 材料科学科) **高尻雅之(東海大学 工学部 応用化学科)
15(金)	セッション3	A-12	ナノインデンテーション法を利用したSi薄膜の群速度、フォノン平均自由行程の算出 *篠崎義之(東海大学 工学部 材料科学科) **高尻雅之(東海大学 工学部 応用化学科)

15(金)	セッション4	A-13・P応募	ステンレス鋼の表面状態がろう付時のぬれに及ぼす影響 *榎野晴（東海大学工学部材料科学科）、鎌田龍介（東海大学工学研究科応用理化学専攻）、人見伊吹（東海大学工学研究科応用理化学専攻）、**宮沢靖幸（東海大学工学部機械工学科）
15(金)	セッション3	A-14	SWCNT薄膜の熱処理の影響 *ムハンマドハジクビンハイリルアズリ（東海大学工学部材料科学科） **高尻雅之（東海大学工学部応用化学科）
14(木)	セッション1	A-15・P応募	炭素繊維とPPS(ポリフェニレンサルファイド)の複合材料の機械的特性に及ぼす電子線照射処理の効果に関する研究 *八木響希（東海大学工学部精密工学科） **内田ヘルムート貴大（東海大学大学院工学研究科）
15(金)	セッション3	A-16・P応募	炭素繊維強化ポリカーボネートの機械的性質に及ぼす加速電圧を制御した電子線照射処理の影響 佐藤 史也(東海大学大学院工学研究科)、**佐川 耕平 講師(東海大学工学部機械システム工学科)、**内田ヘルムート貴大 准教授(東海大学工学研究科)、**木村 英樹 教授(東海大学工学部機械システム工学科)、**西 義武 名誉教授(東海大学)
14(木)	セッション2	A-17	液中プラズマ法を用いたPt代替触媒の作製と燃料電池への応用 朱洪廷（東海大学大学院工学研究科 電気電子工学専攻）庄 善之（東海大学大学院工学研究科 電気電子工学専攻）
15(金)	セッション4	A-18・P応募	黄銅／ステンレス鋼ろう付時の界面反応の解析 発表者 藤田萌（東海大学工学部材料科学科） 共著者 植松菜々子（東海大学工学研究科応用理化学専攻） 鈴木光河（東海大学工学部材料科学科） 宮沢靖幸（東海大学工学部機械工学科）
14(木)	セッション2	A-19	Al-Mg合金の機械的特性と熱処理に関する研究 *川畑 秀太（東海大学工学部精密工学科）、吉田 将樹(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)、内田 ヘルムート貴大(東海大学工学部精密工学科)
15(金)	セッション4	A-20・P応募	箔状ろう材を用いた固液共存温度域のろう付 *村山侑優（東海大学工学部材料科学科）、小林昂太郎（東海大学総合理工学研究科総合理工学専攻）、**宮沢靖幸（東海大学工学部機械工学科）
14(木)	セッション2	A-21	CNT膜作製における超音波ホモジナイザーの分散条件探索 *落合秀弥(東海大学工学部材料科学科)、**高尻雅之(東海大学工学部応用化学科)
14(木)	セッション1	A-22・P応募	ガス/電気化学複合システムによるパラジウムおよびパラジウム基合金円筒の水素透過特性評価 *小倉 博人(東海大院工)、原田 亮 (東海大工)、**内田 ヘルムート貴大 (東海大院工)
14(木)	セッション1	A-23・P応募	その場アコースティック・エミッション測定による水素導入FCC/BCCステンレス鋼の変形挙動変化 *佐藤 優諒（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 機械工学専攻)
15(金)	セッション3	A-24・P応募	固相拡散を用いたタングステンからの水素回収法の検討 *坂本康輔（東海大学大学院工学研究科）、岡田尚之（東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻）、**内田ヘルムート貴大（東海大学大学院工学研究科）
15(金)	セッション4	A-25・P応募	水素導入処理がチタンワイヤーの機械的特性に与える影響 *関 龍翔(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、山崎 智美(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、原田 亮(東海大学工学部機械工学科)、**内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)

15(金)	セッション4	A-26・P応募	ろう付用フラックスの挙動に関する基礎的検討 *中隼翔太(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻) **宮沢靖幸(東海大学工学部機械工学科)
14(木)	セッション2	A-27・P応募	Ni/Tiコンポジットによる常温水素回収機構の有効性評価 *長谷川吉之輔(東海大学 工学研究科 機械工学専攻) **内田ヘルムート貴大(東海大学 工学研究科 機械工学専攻)
14(木)	セッション2	A-28・P応募	電子線照射処理前後におけるCFRTP (CF/PPS) の衝撃値評価 *入江 紘嵩(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、伊比井 亜弥音(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)、西 義武(東海大学、KISTEC)、佐川 耕平(東海大学大学院工学研究科)
15(金)	セッション3	A-29・P応募	Ba(Gd,Yb,Er) ₂ ZnO ₅ アップコンバージョン蛍光体の液相並列合成による最適組成の探索 *眞壁恒成(東海大学理学部化学科)、保科俊輔(東海大学理学部化学科)寺島那哉(東海大学大学院理学研究科化学専攻)、**富田恒之(東海大学理学部化学科教授)
14(木)	セッション1	A-30・P応募	液中プラズマ法を用いた燃料電池用プラチナ触媒への被毒に関する研究 発表者＝趙志遠 指導教員＝庄善之
(B) 自然・環境エネルギー			
14(木)	セッション2	B-01・P応募	ハイブリッド界磁型同期機における界磁電流と電機子電流の関係に関する研究 *秋元涼(東海大学 工学部 電気電子工学科) **大口英樹(東海大学 工学部 電気電子工学科)
14(木)	セッション1	B-02・P応募	Si単結晶代用電池のダブルセルクラスタ方式によるホットスポット発熱の低減 *久保田晶(神奈川工科大学大学院電気電子工学専攻)、加藤玲(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)
14(木)	セッション2	B-03・P応募	AIによる単相電流型コンバータの高調波抑制制御 *久保田晶(神奈川工科大学大学院電気電子工学専攻)、笹木 柊之介(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)
14(木)	セッション2	B-04・P応募	水酸化アルミニウムと炭酸カルシウムのボールミリングによるメタン生成 *近江柊杜(東海大学 工学部 材料科学科) **源馬龍太(東海大学 工学部 応用化学科)
14(木)	セッション1	B-05・P応募	インピーダンス測定法を用いた固体高分子形燃料電池の直列抵抗成分の評価 *菅原唯(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、庄善之(東海大学工学部電気電子工学科)、原田亮(東海大学総合科学研究所)、**内田ヘルムート貴大(東海大学工学部機械工学科)
14(木)	セッション1	B-06・P応募	Si 単結晶PV モジュールの短絡開放時における内部発熱の実験 *外石千尋(神奈川工科大学電気電子情報工学科) **板子一隆(神奈川工科大学工学部電気電子情報工学科)
14(木)	セッション1	B-07	圧電効果を利用したCO ₂ 還元を検討 *布瀬小枝(東海大学大学院 工学研究科 応用理化学専攻)、澤原馨登(筑波大学大学院 理工情報生命学院 数理工学科学研究群 化学学位プログラム、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 触媒化学融合研究センター)、**源馬龍太(東海大学工学部 応用化学科)

14(木)	セッション2	B-08・P応募	ハイブリッドスイッチトリラクタンスモータの基礎検討に関する研究 * 橋本 洸亮 (東海大学 工学部 電気電子工学科)、安田 一心 (東海大学 工学部 電気電子工学科) * * 大口 英樹 (東海大学 工学部 電気電子工学科)
14(木)	セッション2	B-09・P応募	永久磁石同期機における1スロットあたりの素線本数が循環電流損と渦電流損に与える影響に関する研究 *小野 佑馬、斎藤 隆太、白井 智貴 (東海大学 工学部 電気電子工学科) **大口 英樹 (東海大学 工学部 電気電子工学科)
14(木)	セッション1	B-10・P応募	アルカリ土類金属の炭酸化合物と水酸化合物のボールミリングによるメタン生成の可能性 *馬 博遠(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)
14(木)	セッション2	B-11・P応募	Fe担持したCaCO₃からのメタン生成の可能性 上田 颯斗(東海大学 工学部 材料科学科) 吉田 有章(東海大学大学院 総合理工学研究科総合理工学専攻、東海大学 マイクロ・ナノ研究開発センター) 源 馬龍太(東海大学 工学部 応用化学科、東海大学 マイクロ・ナノ研究開発センター)
14(木)	セッション2	B-12・P応募	炭酸カルシウムの熱分解挙動の加熱雰囲気依存性 *劉 仟禧 (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)
(C) 機械工学			
15(金)	セッション3	C-01・P応募	不織布の繊維密度分布に起因するRoll-to-Roll搬送中のトラフ発生メカニズム解明の基礎検討 * 畑中 悠希 (東海大学 工学研究科 機械工学専攻) * * 砂見 雄太 (東海大学 工学部 機械システム工学科)
15(金)	セッション4	C-02・P応募	移動する円筒状音源が生成する音場の数値解析 * 江尻 直樹 (東海大学大学院 工学研究科 機械工学専攻) * * 森下 達哉 (東海大学 工学部 機械工学科)
15(金)	セッション4	C-03・P応募	音振動連成を用いた圧電振動発電の発電特性 (第2報: 両側加振時の発電特性) *北澤 剣蔵(東海大学 工学部 精密工学科)、永谷 俊人(東海大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻)、土屋 明花(元東海大学大学院 工学研究科 機械工学専攻)、**土屋 寛太郎(機械工学専攻)、森山 裕幸(機械工学専攻)、鈴木 隆ノ介(精密工学科)、中尾 僚(精密工学科)、武藤 俊一朗(精密工学科)
15(金)	セッション4	C-04・P応募	音振動連成を用いた圧電振動発電の発電特性 (第1報: 片側加振時の発電特性) *中尾 僚 (東海大学 工学部 精密工学科)、永谷 俊人 (東海大学大学院 工学研究科 機械工学専攻)、土屋 明花 (元東海大学大学院 工学研究科 機械工学専攻)、**土屋 寛太郎 (機械工学専攻)、森山 裕幸 (機械工学専攻)、北澤 剣蔵 (精密工学科)、鈴木 隆ノ介 (精密工学科)、武藤 俊一朗 (精密工学科)
15(金)	セッション4	C-05・P応募	点加振を用いた圧電振動発電の発電特性 (第2報: 加振位置に関する検討) * 武藤 俊一朗 (東海大学 工学部 精密工学科)、永谷 俊人 (東海大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻)、土屋 明花 (元東海大学 大学院 工学研究科 機械工学専攻)、* * 土屋 寛太郎 (機械工学専攻)、森山 裕幸 (機械工学専攻)、北澤 剣蔵 (精密工学科)、鈴木 隆ノ介 (精密工学科)、中尾 僚 (精密工学科)
15(金)	セッション3	C-06・P応募	点加振を用いた圧電振動発電の発電特性 (第3報: モードに関する検討) *永谷 俊人(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、土屋 明花(元東海大学大学院機械工学専攻)、**土屋 寛太郎(機械工学専攻)、森山 裕幸(機械工学専攻)、北澤 剣蔵(東海大学工学部精密工学科)、鈴木 隆ノ介(精密工学科)、中尾 僚(精密工学科)、武藤 俊一朗(精密工学科)

15(金)	セッション3	C-07・P応募	点加振を用いた圧電振動発電円の発電 *鈴木 隆ノ介(東海大学工学部精密工学科)、永谷 俊人(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、土屋 明花(元東海大学大学院機械工学専攻)**土屋 寛太郎(機械工学専攻)、森山 裕幸(機械工学専攻)、北澤 剣蔵(精密工学科)、中尾 僚(精密工学科、武藤 俊一朗(精密工学科)
14(木)	セッション1	C-08・P応募	画像関連法による足関節骨折モデルの創外固定ピン刺入部近傍のひずみ測定 *西郷恵達(東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻)、**菊川久夫(東海大学工学部医工学科)、村山夢奈(東海大学工学部医用生体工学科)、小林由香(東海大学八王子病院整形外科)、齋藤育雄(伊勢原協同病院整形外科)
15(金)	セッション4	C-09	Basic Voice Command And Automation Controlled Robotic Car Ahmed ALSHEMEILI (Tokai University, School of Engineering, Department of Precision Engineering) Masaki YOSHIDA (Tokai University, Graduate School of Engineering, Department of Mechanical Engineering) Syunto NAGATANI (Tokai University, Graduate School of Engineering, Department of Mechanical Engineering) Hirotarou TSUCHIYA (Tokai University, School of Engineering, Department of Precision Engineering)
(D) 教育・基礎科学			
15(金)	セッション4	D-01・P応募	化学プロセスシミュレーションを用いたC-H-O反応系に対する化学反応条件の最適化 *小池鷹生(東海大学大学院 工学研究科 機械工学専攻) 原田亮(東海大学 工学部 機械工学科) **内田ヘルムート貴大(東海大学大学院 工学研究科 機械工学専攻)
(E) 光・プラズマ理工学			
15(金)	セッション3	E-01・P応募	PHOTOTHERMOELECTRIC POWER GENERATION IN SINGLE-WALLED CARBON NANOTUBE DEVICES WITH PARTIAL COLORED COATINGS UNDER SUNLIGHT IRRADIATION *奥津玲音(東海大学 工学研究科 応用理化学専攻)、**高尻雅之(東海大学 工学部 応用化学科)
15(金)	セッション3	E-02・P応募	核融合ダイバータ模擬装置でのイオン温度に対する非接触プラズマの特性 *平明泰(東海大学 理学部 物理学科) **利根川昭(東海大学 理学部 物理学科) **夏目祥揮(東海大学 国際原子力研究所)
15(金)	セッション3	E-03・P応募	中性子反射率法によるアモルファス二硫化ゲルマニウムへの銀のフォトドーピングの解析 *原竜弥(東海大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻)、坂口佳史(CROSS)、村上佳久(筑波技術大学) **渋谷猛久(東海大学 理系教育センター)
15(金)	セッション3	E-04・P応募	非Cs型負イオン源での水素吸蔵材料を用いた負イオン生成への影響 *中山大輝(東海大学 理学部 物理学科)、高柳光希(東海大学 理学部 物理学科)、三浦海人(東海大学 理学研究科 物理学専攻)、岡田尚徳(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)、夏目祥揮(東海大学 国際原子力研究所)、佐藤浩之助(九州大学)
(F) 生命生理理工学			
15(金)	セッション4	F-01	モルック競技における気分変化と自律神経系への影響 *齋藤優汰(東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科)、木原旭陽(東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科)、尾島早紀(東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科)、安藝史崇(東海大学 工学部 医工学科)**木村達洋(東海大学 文理融合学部 人間情報工学科)
15(金)	セッション4	F-02	自律神経系評価を用いた主観的時間に関する研究 *鬼塚皓己(東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科)、遠藤凌(東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科)、熊本真大(東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科)、安藝史崇(東海大学 工学部 医工学科)、**木村達洋(東海大学 文理融合学部 人間情報工学科)

15(金)	セッション4	F-03	骨格認識システムHR1利用した転倒予測に関する基礎的研究 *木原 旭陽（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、姫野 太翔（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、竹嶋爽祐（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、矢原 允敏（東海大学 文理融合学部 地域社会学科）、**木村 達洋（東海大学 文理融合学部 人間情報工学科）
14(木)	セッション2	F-04	足動作による運動準備電位の分類 *高橋玲音（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、大井智也（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、木村達洋（東海大学文理融合学部人間情報工学科）、山崎清之（東海大学工学部医工学科）、安藝史崇（東海大学工学部医工学科）、**大島浩（東海大学工学部医工学科）
14(木)	セッション1	F-05	脳波における個人特異性情報の抽出に関する基礎研究 *大井智也（東海大学大学院工学研究科）、高橋玲音（東海大学大学院工学研究科）、木村達洋（東海大学文理融合学部人間情報工学科）、山崎清之（東海大学工学部医工学科）、安藝史崇（東海大学工学部医工学科）、**大島浩（東海大学工学部医工学科）
14(木)	セッション1	F-06・P応募	口腔内衛生モニタリングのための無線式マウスガード型濁度センサの開発 *岡田 蒼海（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、川瀬 源太郎（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、市川 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、飯谷 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、**三林 浩二（東京科学大学 生体材料工学研究所）
14(木)	セッション2	F-07・P応募	バンコマイシンの半連続計測のための表面プラズモン共鳴アプタセンサに関する研究 *大野 晃平（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、里村 結衣（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、富麻 浩司（芝浦工業大学 工学部）、市川 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、飯谷 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、**三林 浩二（東京科学大学 生体材料工学研究所）
14(木)	セッション1	F-08・P応募	経皮ガス計測のための高感度アセトン用バイオスニファの開発 *細見 佑一郎（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、石月 尚宏（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、市川 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、飯谷 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、**三林 浩二（東京科学大学 生体材料工学研究所）
14(木)	セッション1	F-09・P応募	遺伝子配列アライメントに対する量子アニーリングの応用 *赤松辰哉(東海大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻)、**牧野浩典(東海大学 情報理工学部 情報科学科)
15(金)	セッション4	F-10	物体認識AIと圧力センサを用いた義手の握力調節システムの構築 *藤村優介（東海大学大学院 工学研究科 医用生体工学専攻） ** 影山芳之（東海大学 工学部 医工学科）
14(木)	セッション1	F-11・P応募	振動触覚刺激モジュールを利用した電動車いす利用者のための周囲状況伝達システムの検討 *小林 睦李(東海大学工学部医用生体工学科)、古屋 友和(東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科医療福祉工学コース)、**安藝 史崇(東海大学工学部医工学科)
14(木)	セッション2	F-12・P応募	加齢臭成分ノネナール検出のための光ファイバ型生化学式ガスセンサ *稲葉 璃人（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、森 英久（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、市川 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、飯谷 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、**三林 浩二（東京科学大学 生体材料工学研究所）
14(木)	セッション1	F-13・P応募	無線 CMOS カメラを用いた外耳道経皮ガスのバイオ蛍光センシング *土井 佳奈（明治大学 理工学部）、石川 力（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、市川 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、飯谷 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、工藤 寛之(明治大学)、**三林 浩二（東京科学大学 生体材料工学研究所）

14(木)	セッション2	F-14・P応募	バイオ蛍光法による経皮エタノールガスのリアルタイムイメージング * 町 依緒（東京科学大学大学院 医歯学総合研究科）、市川 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、飯谷 健太（東京科学大学 生体材料工学研究所）、* * 三林 浩二（東京科学大学 生体材料工学研究所）
(G) 薄膜・表面物性工学			
15(金)	セッション4	G-01・P応募	屈折率傾斜のモノマテリアル AR コートを作製するための積層技術の基礎研究 * 滝沢春樹（東海大学 工学研究科 電気電子工学専攻） * * 室谷裕志（東海大学 情報理工学部 情報科学科）
15(金)	セッション3	G-02・P応募	複合成膜手法により作製した低屈折率Al₂O₃光学薄膜の膜構造と機械的性質 * 鈴木 智晃、**室谷 裕志(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、松平 学幸(SHINCRO CO.,LTD)
15(金)	セッション3	G-03・P応募	陽性界面活性剤を使用したn型SWCNT膜の性能評価 *岡野裕太郎(東海大学院 工学研究科 応用理化学専攻) **高尻雅之(東海大学院 工学研究科 応用理化学専攻)
15(金)	セッション3	G-04・P応募	室温におけるPd基板上Cu薄膜に対する水素拡散透過の評価 * 中村智樹（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、* *（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）
15(金)	セッション4	G-05・P応募	水素センサ応用を目指したPd薄膜の基板依存性評価 *笹島 泰樹(東海大学院工学研究科機械工学専攻)、坂本 康輔(東海大学院工学研究科機械工学専攻)、**内田 ヘルムート貴大(東海大学院工学研究科機械工学専攻)
15(金)	セッション3	G-06・P応募	Pd被覆タングステン板への水素透過と導入が機械的特性に及ぼす影響 *陳 裕原(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)
15(金)	セッション4	G-07・P応募	水素雰囲気中における Pd 担持 CaCO₃ 単結晶基板からのメタン生成 *佐藤蓮(東海大学大学院 工学研究科 応用理化学専攻)、岡本陽佑(東海大学大学院工学研究科 応用理化学専攻)、吉田有章(東海大学大学院 総合理工学研究科 総合理工学専攻)、**源馬龍太(東海大学大学院 工学研究科 応用 理化学専攻)
15(金)	セッション4	G-08・P応募	酸化タングステン粉末からの光触媒電極作製と物性の評価 * 宮本承海（東海大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻） * * 渋谷猛久（東海大学理系教育センター）
(H) その他			
15(金)	セッション3	H-01・P応募	在宅酸素療法における酸素供給方法の効率性と安全性の比較 ～酸素濃縮装置と液体酸素～ *菱沼翼（長崎総合科学大学大学院工学研究科電子情報学専攻）、坂本望（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、西谷光広（だいもん内科・腎透析クリニック臨床工学科）、嵩孝遥（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）池浩司（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、清水悦郎（長崎総合科学大学工学部工学科医療工 学コース）、木村達洋（東海大学文理融合学部人間情報工学科）、**土居二人(長崎総合科学大学工学部工学科医療工学 コース)
15(金)	セッション3	H-02・P応募	Nasal Alar SpO₂ Sensorにおける部位別反応速度の比較検討 *堤亮輔（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、池浩司（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、清水悦郎（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）江崎敬太（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、**土居二人（長崎総合科学工学部工学科医療工学コース、長崎総合科学大学院工学研究科電子情報工学専攻）

14(木)	セッション2	H-03・P応募	フルクトース水溶液の凍結に関する研究 * 樋口将馬(東海大学大学院 理学研究科 物理学専攻)、佐々木海渡(東海大学理学部 物理学科、東海大学 マイクロ・ナノ研究開発センター)、喜多理王(東海大学 理学部 物理学科、東海大学 マイクロ・ナノ研究開発センター)、**新屋敷直木(東海大学 理学部 物理学科、東海大学 マイクロ・ナノ研究開発センター)
14(木)	セッション2	H-04・P応募	評価係数によるクラシックギターのアルアイレ奏法とアポヤンド奏法の音色分析 * 藪田莉央(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)
15(金)	セッション4	H-05・P応募	ドメインウォールエンコーディングに対するリバースアニーリングの効果の検証 * 岩間慈英(東海大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻) ** 牧野浩典(東海大学 情報理工学部 情報科学科)
15(金)	セッション3	H-06・P応募	量子アニーリングを利用したデジタルフィルタの瞬時設計 * 藤崎浩隆(東海大学 情報理工学部 情報科学科)、** 牧野浩典(東海大学 情報理工学部 情報科学科)、高橋智博(東海大学 情報理工学部 情報科学科)
15(金)	セッション4	H-07・P応募	衣料素材の機能性向上と着心地の定量化に関する研究 * 鈴木 ことみ(東海大工)、原田 亮(東海大学総科研)、鈴木孝紀(株式会社元氣カンパニー)** 内田 ヘルムート貴大(東海大院工)
15(金)	セッション4	H-08	誘電分光法による氷結したタンパク質と高分子の水溶液の不凍水分子運動 * 古旗華保莉(東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻)、佐々木海渡(東海大学理学部物理学科、東海大学 マイクロ・ナノ開発研究センター)、喜多理王(東海大学理学部物理学科、東海大学 マイクロ・ナノ開発研究センター)、** 新屋敷直木(東海大学理学部物理学科、東海大学 マイクロ・ナノ開発研究センター)
15(金)	セッション3	H-09・P応募	Intermolecular Interactions, Solubility and Dielectric Spectra Analysis of Formulated Amorphous Solid Dispersions of Erlotinib HCl KP Safna Hussan (Micro/Nano Technology Center, Tokai University, Japan), G. Govindaraj(5Department of Physics, School of Physical, Chemical and Applied Sciences, Pondicherry University, India), Natália T. Correia(University of Lille, France), **Naoki Shinyashiki*(4Department of Physics, School of Science, Tokai University, Japan), Mohamed Shahin Thayyil(Department of Physics, University of Calicut, India), Thekkekkara D Babu(Amala Cancer Research Center, Amala Hospital, India)

以上

Ni 基箔状ろう材を用いたステンレス鋼の低温ろう付

*蔦林育美(東海大学工学部材料科学科)、久保田空(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、**宮沢靖幸(東海大学工学部機械工学科)

1. 背景, 目的

自動車エンジン用 EGR クーラーなどの熱交換器には高い耐食性が求められるため、ステンレス鋼が用いられている。また、ろう付部も同様に高い耐食性が求められるため Ni 基ろう材が選択されている。また、熱交換器には、高熱伝熱、高気密や高強度が求められ、ろう付部にフィレットを形成する事が必要と言われている。

近年、ろう付炉の消費電力を抑え、電力的コストの削減が求められているため、ろう付温度を下げる必要がある。備前らの報告より、固相線以下である 950℃で SUS の板同士でのろう付する事が可能であると報告されている³⁾。また、先行研究より固相線以下でプレートとフィンに模した試験片は部分的に接合が可能であった。しかし、フィレットは形成されなかったため、接合強度に問題がある可能性がある。そこで、MBF20 より液相線が低いろう材を複合的に用いる事でフィレットが形成されると考えた。本研究では、フィレットを形成させる方法として MBF20 の上に MBF60 を設置し、ろう付する方法を考案した。しかし、研究として報告された例はほとんど無く、MBF20 の上に MBF60 を置くことで低温でのろう付が可能との報告がある²⁾。そこで、最も一般的な Ni 系ろう材である MBF20 (BNi-2 相当) と MBF60 を複合的に用いて、低温でのろう付時にフィレットが形成可能かを調査し、フィレット形状を評価することを目的とする。

2. 方法

試験片として母材に耐孔食性があるとされるフェライト系ステンレス鋼の SUS444 を使用した。また、ろう材は Ni 系箔状ろう材 MBF20 とぬれ性が良く低温でろう付ができる MBF60 を使用した。より熱交換器の製品に近い形状でろう付を行うために母材とろう材を図 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、ろう付温度は、先行研究で 950℃で部分的な接合が可能であったことから、本研究では 920、900℃とした。ろう付時間は 10min とし、ろう付後、炉冷した。ろう付した試験片は、エポキシ樹脂で樹脂埋めし、中速カッターを用いて切断した。試験片の切断位置は中心の位置と設定した。切断後、エメリー紙及び、バフ研磨を行い光学顕微鏡でフィレットや組織観察を行った。フィレットの定義は、光学顕微鏡で 50 倍の倍率で観察をしたときに、フィンと箔状ろう材の間にフィレット形状が確認された場合、それをフィレットとした。

3. 実験結果

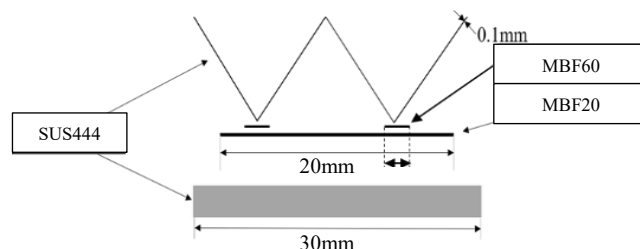


図 1 試験片断面の概略図

両試験片共に部分的な接合は可能であった。また 900℃でろう付した際、ろう材層にクラックが生じた。そしてイメージ j を用いてそれぞれフィレット面積と角度を測定し比較した。その結果、面積は 900℃の場合、9073.78 μm^2 であり、920℃の場合、9176 μm^2 であり、920℃の試験片がわずかに大きかった。フィレットの角度も左右の平均が 900℃では 60.73°、920℃では 46.69°と測定され、900℃の場合と比較し、920℃の試験片が大きくなった。

4. 考察

両試験片共に、部分的な接合は可能であったが、一部、箔が溶融せず未接合部分が確認された。これは炉内の温度分布の不均一が原因と考えた。また、920℃の場合、900℃の試験片より、フィレット面積が大きくなった原因は、より多くの熱が加わることによって液相線温度が低い MBF60 が先に溶融し、その影響で MBF20 も溶解したため、元素の移動が促進されたと考えられる。角度も 920℃の方が大きくなることからろう材の接地面から母材にぬれ広がっていると考えられる。

5. 結論

本研究の範囲内では、部分的な接合は可能であった。920℃試験片のフィレット面積が大きくなった要因は、元素の移動が促進されたためと考察した。角度も 920℃試験片が大きいく、このことからろう材の接地面から母材にぬれ広がった。

参考文献

- 1 林篤剛 ほか：フェライト系ステンレス鋼の Ni ろう付け性. 日本製鉄技報第 416 号, 2020, p.101
- 2 手島聖英, 小川洋：ろう付継手のフィレット形状予測 .デンソーテクニカルレビューVol.12 No. 2, 2007, p.144
- 3 Bizen Yoshio : Brazing of 444 Stainless Steel with Ni-7Cr-3Fe-4.5Si-3.2B Amorphous Brazing Foils at Lower Temperatures Below the Solidus. IBSC2024

アルミニウム合金の低温ろう付

*大畑陽平(東海大学工学部材料科学科)、**宮沢靖幸(東海大学工学部機械工学科)

1. 背景, 目的

近年、PC やスマートフォンなどの電子機器が普及しており、それに伴って電子基板の需要と生産量が大きく増加している。しかし、集積が進むほど電子基板からの発熱量は上昇し、性能の低下や故障に繋がる。これを防止するために基板の裏面の放熱板とヒートシンクを接合して放熱を効率的に行う解決法が提案されている¹⁾。ヒートシンクとは表面積の広い放熱部品であり、アルミニウム合金などが多く使われている。

アルミニウム合金には材料表面に強固な酸化皮膜が存在し、接合の際にはその除去が必要不可欠である²⁾。また、使用時の性能確保やカーボンニュートラル達成のための製造プロセスなどを考慮すると、ろう付温度を下げる事は必須である。

そこで、本研究では、ろう付温度を低下するために、Al 合金のろう付に主に用いられる Al-Si 系ろう材の融点(575℃)よりも低い融点を有する Zn-Al 系ろう材の使用にて健全なろう付体を得ることを目的とした。

2. 方法

母材には A8021 と A1050 を用いて、ろう材には Zn-Al 系のろう材(100μm)を用いて Ar ガス雰囲気中にてろう付を行った。フラックスは CF-7 を使用し、市販の管状炉を使用した。試験片番号 1 では図 1 の模式図の形で実験を行った。試験片番号 2 では図 1 左側頂点部分に 30° に折り曲げた A4045 を挟み込み、傾斜をつけて実験を行った。

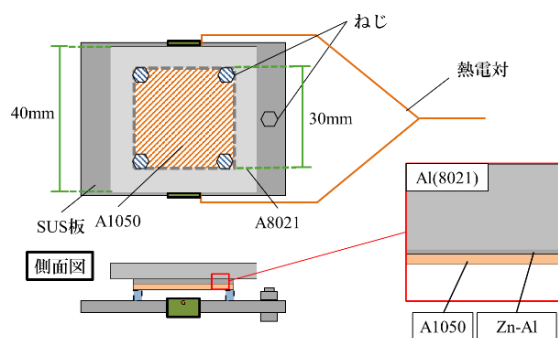


図 1 無負荷試験片模式図

表 1 母材の化学成分

	化学成分							
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
A8021	≤0.15	1.2~1.7	≤0.05	-	-	-	-	Bal.
A1050	0.25	0.4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	Bal.

表 2 実験条件

試験片番号	ろう付温度(℃)	ろう付時間(分)	炉の温度(℃)	試験片形状	挟み込みろう材
1	550	120	590	無負荷試験片	-
2				挟み込み試験片	A4045

3. 実験結果



図 2 試験片 1 断面マクロ組織



図 3 試験片 2 断面マクロ組織

図 2、図 3、にそれぞれの試験片の断面図を示した。

図 2 の試験片番号 1 では中央に大きなボイドが確認された。また、試験片に反りが確認できた。図 3 の試験片番号 2 では中央部に小さなボイドが確認され、本研究の範囲内で最も健全なろう付体が得られた。この試験片に反りは確認できなかった。

4. 考察

試験番号 1 の反りによってろう材が重力によって両端に流れてしまい、このような結果となったと考察した。

5. 結論

ボイドを逃がすために傾斜をつけて実験を行い、ボイドを減らすことはできた。先行研究により挟み込むろう材は Zn-Al 系ろう材を使うよりも A4045 を使った方が良くろう付体が得られていたためこの条件で行った。しかしボイドを完全に無くすることが出来なかった。

断面画像のみだと試験片全体のボイドの位置や大きさが不明確であるため X 線 CT 等を用いて評価していく。

今回の試験片の反りは目視でしか確認できなかったため、レーザ計測器を用いて数値化する。

6. 参考文献

- コンピュータ用回路基板の放熱 横内 貴志男, 亀原 伸男, 丹羽 絃一, 宇田川 義明.
- Al-Mg-Si 系 6063 合金の拡散接合界面における酸化物の挙動 —透過電子顕微鏡観察による Al 合金の拡散接合機構の検討(第 1 報)— 池内 建二, 小谷 啓子, 松田 福久.

黄銅/ステンレス鋼ろう付時の Bi の挙動解析

*鈴木光河（東海大学工学部材料科学科）、藤田萌（東海大学工学部材料科学科）、植松奈々子（東海大学工学研究科応用理化学専攻）、**宮沢靖幸（東海大学工学部機械工学科）

1. 背景, 目的

黄銅には鉛(Pb)が含まれていたが、近年になって黄銅が使用されている製品で黄銅中に含まれる鉛(Pb)が人体に悪影響を及ぼしている事が判明した。それにより飲料水質基準法の改正によって黄銅中の鉛(Pb)含有量が0.025mass%未満に規制された。これらによって現在では鉛(Pb)に代わる代替元素としてビスマス(Bi)などを添加した鉛(Pb)フリー黄銅が開発された。現在までに鉛(Pb)フリー黄銅は実用化され多くの場所で活用されている。¹⁾

また、SDGs 達成に必要なマルチマテリアル化には、異種金属材料のろう付が必須と言われている。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、より多くの場所で活用できることが見込まれており、特に、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が必要と言われている。

さらに、低い温度でろう付することで、製品製造時のカーボンニュートラル達成にも貢献し、高温脱亜鉛反応の問題を起こさずに強度を保ちながら健全なろう付体を得られると考えた。低温度でのろう付により健全なろう付体を得るためには、ろう付時の界面反応解析が必須である。特に Bi の挙動はろう付体の性質に強く影響を与える事が判っている。

そこで、本研究では、添加元素であるビスマス (Bi) が界面に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

母材に直径 15mm の三種類の C6803 黄銅(長さ 15mm)と直径 15mm の SUS304 ステンレス鋼(長さ 5mm)を用いた。母材間に直径 15mm の BAg-7(厚 200 μ m)の箔状ろう材を設置し横型炉を用いて、雰囲気アルゴンガスでろう付を行った。試験片は熱伝導率の違いから、図 1 に示す通り、体積比 3 : 1 の形状にした。ろう付温度は 680、710、740 $^{\circ}$ Cで行い、保持時間は 5、10、15 分で行った。

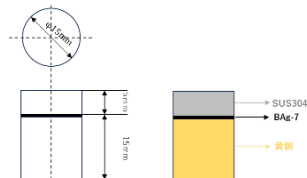


図 1 試験片概略図

3. 実験結果

680、710、740 $^{\circ}$ Cでろう付した試験片はすべてろう付

に成功した。図 2 にろう付部断面マイクロ組織を示した。この結果と元素分析結果などから、680 $^{\circ}$ Cでろう付した試験片の場合、ろう材層の付近にビスマスなどの添加元素が多く確認された。710 $^{\circ}$ Cでろう付した試験片の場合、ビスマスなどの添加元素は減少していたが 680 $^{\circ}$ Cの試験片と同様にろう材層の付近に存在していた。

740 $^{\circ}$ Cでろう付した試験片の場合、ビスマスなどの添加元素はろう材層の付近には見られず、より黄銅側で見られた。

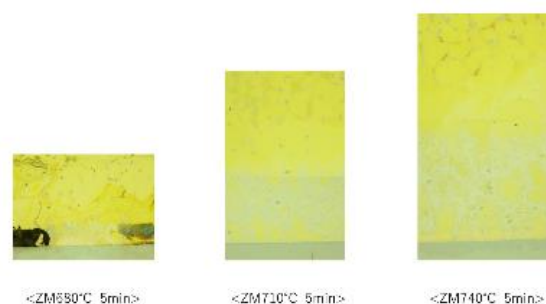


図 2 ろう付部の断面マイクロ組織 図中、上部が黄銅母材、下部がステンレス鋼

4. 考察

680 $^{\circ}$ Cでろう付した試験片は、比較的低いろう付温度であったため、黄銅母材の溶解反応が小さく、710、740 $^{\circ}$ Cでろう付した試験片と比較して、ろう材層付近で観察されたビスマスなどの添加元素量が多いと考察した。

また、710、740 $^{\circ}$ Cでろう付した試験片は黄銅母材との溶解反応が進行し、熔融ろう材量が増加したため、ろう材層の厚さに違いが出たと考察した。

5. 結論

680、710、740 $^{\circ}$ Cでろう付した試験片はろう付に成功した。SEM を用いて観察した結果、温度上昇に伴い、ろう材層の付近に見られる添加元素の量が減少していく傾向が確認できた。

また、温度上昇に伴い、ろう材層厚さが増加していた。

参考文献

- 1) 吉田知広, 田嶋晃, 宮沢靖幸, 降旗恭平, 増田博, 特殊黄銅とステンレス鋼とのろう付時の界面反応, 銅と銅合金, 第 62 巻 1 号 (2023)

セラミックス表面へのメタライズ層の形成と評価

*栗田大輝(東海大学工学部材料科学科)、福壽信人(東海大学工学研究科応用理化学専攻)、**宮沢靖幸(東海大学工学部機械工学科)

1. 背景, 目的

現在セラミックスは、様々な用途で使用されている。セラミックスは、高温強度、耐摩耗性、電気絶縁性などに優れた性能を発揮する。その優れた特性を活かすべく金属と接合され、エレクトロニクス分野、自動車分野に応用されている。しかし、セラミックスと金属のろう付はセラミックスのぬれ性の悪さ、セラミックスと金属の熱膨張係数の違いなどが課題として挙げられる¹⁾。そのため、一般的にセラミックスのろう付として二つの手法が挙げられる。一つ目は活性金属法、二つ目にメタライズ法が挙げられる。活性金属法とは、ろう材に Ti などの活性金属を添加し、直接的に接合する手法である。メタライズ法とは、セラミックスの表面に金属皮膜を形成させ、間接的に接合する手法である²⁾。

本研究ではメタライズ法を用いてろう付を行う。メタライズ法は、接合した際にぬれ性、気密性、耐熱性、長期信頼性を高めることができることが特徴として挙げられる。しかし、現在のこの手法では比較的高温度でメタライズが行われている。そのため、炉を高温度にする必要がある。これは、電力消費が大きくコストがかかり、大量生産にも向かないと考えられる。そのため、これらの課題を解決する手法として、活性金属メタライズ法の報告がある³⁾。そこで、本研究ではより低融点でのろう付の確立を最終目的とする。この最終目的のため、今回は、メタライズにおける最適条件を導き出すことを目的とする。

2. 方法

アルミナセラミックス上にメタライズ層(金属層)を形成するために、ろう材と活性金属である Ti 箔を配置した。また、ろう材箔を固定するために、上部から治具により圧力を負荷して固定した。圧力負荷時にろう材と治具との反応を防ぐために、反応性が低いカーボンシートを設置して治具を保護した。試験片 No.1 に、母材にアルミナ系セラミックス、Ti 箔(1 μ m)、A4045 を用いて、メタライズ形成温度 730 $^{\circ}$ C、保持時間 30 min で、メタライズ層を形成した。試験片 No.2 は、試験片 No.1 を用いてろう付した。ろう材に Al-Zn 系ろう材を用い、ろう付温度 520 $^{\circ}$ C、ろう付時間 30 min でろう付した。

3. 実験結果

試験片 No.1 の場合、メタライズ形成処理温度 730 $^{\circ}$ C で、メタライズ層形成に成功した。

試験片 No.2 は、メタライズ層を形成した試験片 No.1 を用いてろう付した試験片である。この場合、ろう付温

度 520 $^{\circ}$ C で、ろう付に成功した。一方、ろう付部断面マイクロ組織を観察するために中速カッターで、切断した際に剥離した。

4. 考察

730 $^{\circ}$ C は、先行研究で確認した Ti の活性温度域、660 $^{\circ}$ C 付近、より高温であるため、活性金属である Ti がセラミックスと反応し、メタライズ層形成に至ったと考察した。活性金属 Ti がセラミックスと反応する温度は、セラミックスの組成に依存する 경우가多く、詳細は不明である。本研究の範囲内では、660 $^{\circ}$ C 付近であった。詳細な反応メカニズムは解析中である。

試験片 No.2 では、ろう付温度 520 $^{\circ}$ C でろう付に成功した。しかし、中速カッターで切断した際に、剥離した。これらの結果から、実用上充分なろう付体は得られなかったと結論付けた。原因は現在検討中であるが、メタライズ層形成の際に、メタライズ層形成のために挿入したろう材がろう付体外部へあふれ出ていることが確認された。これにより、メタライズ層が薄くなり、強固な接合が出来なかったと考察している。

5. 結論

試験片 No.1 では、メタライズ層形成に成功した。試験片 No.2 では、試験片 No.1 で成功したメタライズ層を用いて、ろう付を行った。ろう付は、成功したが、中速カッターを用いて切断した結果、剥離した。

今回の実験で、メタライズ形成処理温度 730 $^{\circ}$ C で、メタライズ層形成に成功した。そして、この試験片を使用し、ろう付温度 520 $^{\circ}$ C で、ろう付に成功したが、ろう付部断面マイクロ組織を観察するために、中速カッターを使用し切断した結果、剥離した。このため、強固なろう付体は得られなかった。

参考文献

- 1)伊藤 正也, 田中 智雄: セラミックスとアルミニウムのろう付技術 軽金属 (1998),454-458
- 2)カワソーテクセル株式会社: 超高真空を支える接合技術 -メタライズ・ブレージング技術-, Vol. 51, No.10, 2008 p. 44-47
- 3)永塚公彬: ろう材組成の最適化によるセラミックスと超硬合金の異材レーザーブレージング接合特性の改善に関する研究 大阪大学大学院工学研究科 博士学位論文 2013 年 1 月,1-5

SUS304 製リングの急熱による表面の熱色変化について

* 発表者 後藤大介(東海大学工学部精密工学科)、共同研究者吉田将樹(東海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)、内田ヘルムート貴大(東海大学工学部精密工学科)

1. 背景

ステンレス鋼は、優れた耐食性と機械的特性から、建築、食品加工、医療機器など広範な分野で利用されている。その中でも、SUS304 は最も広く使用されているオーステナイト系ステンレス鋼である。しかし、ステンレス鋼は無機質な銀色であり、装飾性に欠けるのではないかと考えられる。特定の用途では、ステンレス鋼の表面に色を付けることで、デザイン性を向上させたり、部品の識別を容易にしたりすることでよく実用されている。本研究の目的は、SUS304 ステンレス鋼リングの表面に急熱処理を施し、形成される酸化皮膜の色調変化を利用し無機質な銀色から赤、青、紫、金などの色を付けることで、ステンレス鋼の装飾性を向上させることである。

2. 実験方法

2. 1 実態顕微鏡にて観察

NIS Elements SMZ25 を使用し、リングの加熱後と加熱前の色調を確認する。

2. 2 走査型電子顕微鏡による酸化被膜の観察

走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて、2.2 で加熱したリングと、加熱前のリングの成分を観察した。加熱後の 2 種類のリングにはそれぞれ酸化被膜が形成されていると予測したため、その成分を確認し、酸化被膜が形成されているかどうかを観察する。

3. 実験結果

3. 1 加熱実験

加熱による SUS304 リングの表面色変化を観察した結果、温度と時間に依存した特徴的な色調変化が確認された。これは偶然の発見であり、実験前にバーナーの着火テストを SUS304 の適当な板材を用いて行った際、研磨したものと研磨していないもの間で色調の変化が確認された。その後、2 つのリングを加熱し、金色と青色のリングを作成した。金色は加熱開始後 5.3 秒経過時に冷却を行い、リング表面の外観(推定到達温度: 200-300° C)を観察した。一方、青色は加熱開始後 57.8 秒経過時に冷却を行い、リング表面の外観(推定到達温度: 500-600° C)を確認した。酸化被膜の色調と推定温度の関係から、予想温度を推定することができた。

3. 2 実体顕微鏡での観察

実体顕微鏡を用いて、加熱前および加熱後の 3 つのリングを観察した。それぞれの画像からカラーピッカーアプリを使用して色を測定した。加熱前(銀色)のカラ

ーコードは 9D9D9D、加熱時間 5.3 秒で得られた金色のカラーコードは FBE0B6、加熱時間 57.8 秒で得られた青紫色のカラーコードは DB58EA となった。

3. 3 走査型電子顕微鏡による酸化被膜の観察

加熱前の成分は Fe が 67.94%、Cr が 18.19%、Ni が 7.05%、C が 5.08% であったが、加熱時間 5.3 秒のカラーコード FBE0B6 では Fe が 61.25%、Cr が 17.08%、Ni が 5.63%、C が 8.04%、O が 6.85% に変化した。さらに、加熱時間 57.8 秒カラーコード DB58EA では Fe が 59.27%、Cr が 17.10%、Ni が 5.33%、C が 9.80%、O が 7.44% となった。これらの結果から、加熱時間の増加に伴い C と O の比率が増加し、同時に Fe が減少していることが理解できた。

4. 考察

本実験は、SUS304 リングの表面に形成される酸化皮膜の厚さが、加熱温度および加熱時間に依存することを示した。酸化皮膜の観察から、Fe はステンレス鋼の基材成分として、構造的な強度を保持する重要な役割を果たしていることが確認された。Fe の減少は、金属の機械的特性および耐久性に悪影響を及ぼす。また、C と O の増加は酸化皮膜の形成を促進し、その結果として表面特性に変化をもたらすことが示された。酸化皮膜の厚みが増加することで、耐食性が向上することが確認された。したがって、加熱時間を増やすことにより、酸化皮膜をさらに厚く形成することが可能であると考えられる。

5. 結論

本研究は、SUS304 ステンレス鋼リングの急熱処理による酸化皮膜の色調変化を調査し、加熱温度と時間が酸化皮膜の厚さと色調に影響することを確認した。今後の課題は、色を均一化するために、酸化皮膜の厚さや光の関係を利用し、実用的なアクセサリーとして、身につけられるよう実験していきたい。

参考文献

- [1] ステンレスの予想温度について
<https://www.shizecon.net/award/detail.htm> (2024/9/25 閲覧)
- [2] 酸化被膜
<https://ebinadk.com/sus-blackfilm> (2024/9/25 閲覧)
- [3] 八代 利之、寺島 慶一、「制御雰囲気のもとでの加熱処理によるステンレス鋼の不動態化」、表面技術、Vol.41, No.3, 1990, p.227-234

異種カチオン置換による Er, Yb ドープ Gd₂O₃ 赤色発光アップコンバージョン蛍光体の高輝度化

* 保科俊輔(東海大学 理学部 化学科)、眞壁恒成(東海大学 理学部 化学科)、寺島那哉(東海大学 理学研究科 化学専攻)、** 富田恒之(東海大学 理学部 化学科)

[Introduction]

アップコンバージョン (upconversion ; UC) 蛍光体とは、980 nm 付近の近赤外光を照射することで多光子多段階励起を引き起こし、励起光よりもエネルギーの高い青緑赤の可視光を発光することができる材料のことである。UC 蛍光体はバイオイメージングや太陽電池との複合化による効率向上など、多岐にわたる用途に向けた研究が行われている¹⁾。そのなかで、赤色発光を示す酸化物 UC 蛍光体として、Gd₂O₃、LaGdO₃、BaGdZnO₅ が主にある。

UC 蛍光体の強度を増幅させる方法として、金属イオンのドーピングが挙げられている。主な例としては、小半径イオンである Li⁺、Na⁺、遷移金属イオン Cu²⁺、Zn²⁺ などがある。このなかでも Zn²⁺ は無機蛍光体において、UCL 強度が大幅に向上するという結果も得られている²⁾。本研究においては赤色発光を示す UC 蛍光体の 1 つである Gd₂O₃ に Zn²⁺ 及び様々な金属イオンをドーピングすることで UC 蛍光体の高輝度化をはかった。

[Experimental]

錯体重合法によって試料を合成した。化学量論比になるように各種金属錯体溶液と錯形成剤として 3M くえん酸とプロピレングリコールを混合後、攪拌した。ドーピング割合は Er、Yb どちらも Gd サイトに対して 7mol% で、Zn、Ag、Pb はそれぞれ 1、10mol% である。これらの溶液を攪拌後、電気炉にて 120℃ で 12 時間加熱濃縮後、450℃ 20 時間仮焼きを行った。仮焼き後、得られた前駆体をろ過に移し替えて電気炉で 1200℃、5 時間焼成を行った。試料完成後、回折粉末 X 線回折装置(XRD Bruker AXS, D8 ADVANCE)と赤外半導体レーザー(980nm, 100mW)を励起源として、マルチチャンネル型分光光度計(大塚電子, MCPD-7700:311C)を用いて測定を行い、相の同定及び発光の評価を行った。走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて金属置換されていない蛍光体(No dope)と Zn10% ドープの結晶性の違いを確認した。

[Results & Discussion]

Fig.1 に各試料の赤色発光の最大値の比較結果、Fig.2 に同条件の XRD 測定の結果を示す。Fig.1 の結果からみると、Zn をドーピングしている蛍光体は No dope と比べて発光強度が約 2 倍増大した。よって Gd₂O₃:Er, Yb ドープの蛍光体に対して Zn は発光強度を上げるのに有効であるとわかった。しかし、Ag と Pb では発光強度が増大することがなかった。これ以外にも Cu、Ni、Co などでも試してみたが、発光強度は大幅に減衰してしまった。イオン半径の大きさが関係あると思われ、置換サイトである Gd とのイオン半径の差が大きい方が反転対称性を崩しやすく、f-f 遷移の確率が上昇することから高い発光強度が得られるのでは

ないかと考えられ、ドーピングに利用した金属と Gd のイオン半径の差は Ag>Pb>Zn である。

次に XRD 測定の結果を見ると、基準の Gd₂O₃ のピーク位置とどれも概ね一致していることがわかった。このことから金属イオンをドーピングしても母体の Gd₂O₃ が問題なく生成できることがわかった。しかし、ピーク強度に差があることから、先述した発光強度の違いはこの結晶性の違いによって生じていると考えられる。実際、走査型電子顕微鏡(SEM)を用いて No dope と Zn ドープを比較すると Zn のほうが一粒子当たりのサイズが大きく、余計な隙間もかなり少なかった。

以上の結果より、Zn において一次粒子サイズの増大によると思われる発光強度の向上が見られたことから、他の UPC 蛍光体も含めた Zn ドープの効果进行调查する。

[Reference]

- 1) 石井 海人夢、富田 恒之 オレオサイエンス 第 22 巻第 5 号 (2022) 13-14
- 2) Ruonan Wanga et al, Ceramics International, 50,12 2024 21083-21091

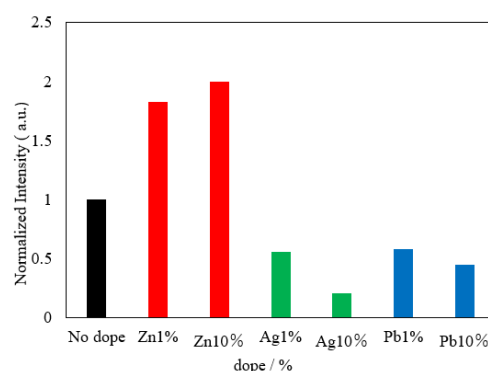


Fig.1 各サンプルの赤色発光の最大値の比較

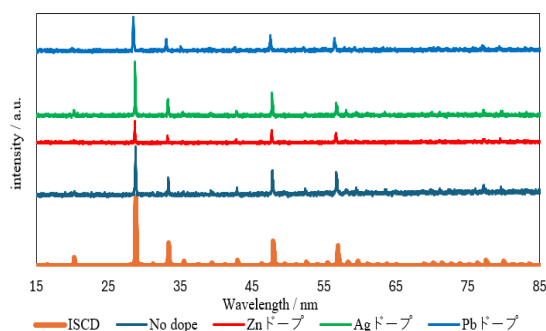


Fig.2 XRD 測定の結果

青色 LED 励起に向けた $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 赤色蛍光体へのランタノイド置換

*飯田智大(東海大学 理学部 化学科)、志村慶太(東海大学 総合理学研究科)、**富田恒之(東海大学 理学部 化学科)

[Introduction]

1990 年代半ばの青色発光ダイオードの発明から、発光色を効率的に生成できる無機蛍光体をベースとしたデバイスの開発が始まり^[1,2]、寿命が長く、エネルギー効率が高いなどといった pc-LED (蛍光体変換発光ダイオード) や、近年ではデジタル化が普及しディスプレイ用途で用いられる三波長型の LED の開発が行われている。三波長型の LED では青色 LED を励起源とした緑色蛍光体、赤色蛍光体を用いて演色性の高い白色光を再現している。しかし、安定で青色光を励起源とした赤色蛍光体は少ない。

本研究では、一般に蛍光灯用 (254nm 励起) に用いられている $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ は青色 LED (466nm) の発光波長と同じ波長で励起する^[3]特徴があるので、 Y^{3+} とイオン半径の近いランタノイドを置換することで青色光を励起源とした発光強度の向上を目的とし、蛍光スペクトルと励起スペクトルの測定を行った。

[Experimental]

Y_2O_3 (99.9%)、 Eu_2O_3 (99.9%)、 Gd_2O_3 (99.9%)、 La_2O_3 (99.9%)、 Lu_2O_3 (99.9%) の各種金属硝酸塩水溶液を作製した。その後、全金属量 2mmol としその内 95% を $\text{RE}(\text{NO}_3)_3$ (今後、 $\text{RE} = \text{Y}, \text{Gd}, \text{Lu}, \text{La}$ とする)、5% を $\text{Eu}(\text{NO}_3)_3$ となるように調製した。錯形成剤として 3M くえん酸 aq. を 3.5mL とエチレングリコール (99.0%) 0.9mL を加え、溶液を混合攪拌し、ハイテンプオープンで加熱濃縮を 120°C で 12 時間保持した後、450°C で 12 時間仮焼した。その後、1500°C で 4h 焼成を行った。得られたサンプルをメノウ乳鉢で粉碎後、XRD (Bruker AXS, D8 ADVANCE) を用いて結晶相の同定、分光蛍光光度計 (日本分光、JASCO FP-8600 spectrometer) を用いて蛍光スペクトル、励起スペクトル測定を行った。

[Results & Discussion]

作製した $\text{RE}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ ($\text{RE} = \text{Y}, \text{Gd}, \text{Lu}, \text{La}$) は XRD によって、それぞれの $\text{RE}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ が主生成物であることを確認した。分光蛍光光度計を用いて $\text{RE}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ の励起スペクトル (蛍光波長 613nm) の測定を行った結果 (Fig. 1)、254nm 励起では $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ の順に強度が大きかった。466nm 励起においても $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ より高い強度を示した試料は $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ であり、 $\text{La}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ の順に低い値を示した。また、測定した各試料の発光ピークの 積分強度を比較した結果、大きい順に $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Lu}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ であった。このことから、 $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ にすることによって 466nm 励起の強度が強くなったのではなく、全体的な発光強度が大きくなっていったと考えられる。

$\text{La}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ を XRD の解析した結果、 $\text{La}(\text{OH})_3$ のピークが観察できた。よって、空気中の H_2O と La_2O_3 が反応してしまい $\text{La}(\text{OH})_3$ が副生成物として生成したため La_2O_3 の純度が他の試料と比べ少ないのが発光強度の低下につながった原因だと考えられる。 $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ の量子効率を測定した結果、吸収率、内部量子効率共に $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ の方が高い数値を示した。これらの事から Y^{3+} の代わりに Gd^{3+} を置換することにより Eu 周辺の O の配位環境が非対称になり f-f 電気双極子遷移の確率が高くなったことで、吸収率と発光効率共にたかくなったことで発光強度が向上したと考えられる。

[References]

- [1] S. Nakamura, T. Murai and M. Senoh, "Candela-class high-brightness InGaN/AlGaIn double- heterostructure blue-light-emitting diodes", *Appl. Phys. Lett.*, **64**, p1687, 1994.
- [2] S. Pimputkar, J. S. Speck, S. P. DenBaars and S. Nakamura, "Prospects for LED lighting", *Nature Photonics*, **3**, p180, 2009.
- [3] A. Boukerika, L. Guerbous, "Annealing effects on Structural and luminescence properties of Red Eu^{3+} -Doped Y_2O_3 nanophosphors prepared by Sol-Gel method", *J. Lumin.*, **145**, p148, 2014.

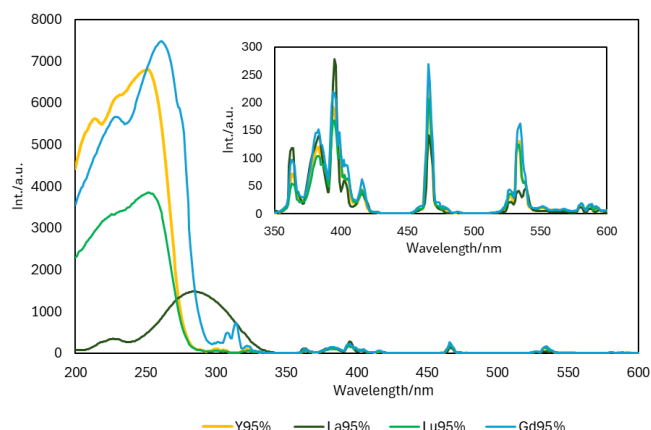


Fig. 1 $\text{RE}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ ($\text{RE} = \text{Y}, \text{Gd}, \text{La}, \text{Lu}$) の励起スペクトル測定の結果 (右上に 350-600nm における拡大図を示す。)

FEM および画像解析を用いた高分子フィルム搬送時における波しわの有効性評価

*後藤宏弥（東海大学工学研究科機械工学専攻）、**砂見雄太（東海大学工学部機械システム工学科）

1. 緒言

近年、高機能製品のフレキシブル化傾向により基盤材となる高分子フィルムの需要が増加している。高分子フィルムなどのフレキシブル製品は工学的にウェブと分類され、一般的に R2R (Roll to Roll) 生産方式で製造される。しかし、搬送時に波板状のしわが生じるトラフやトラフから発展する折れしわが生じやすい¹。これらの不具合はローラの配置に強く影響しているため、装置設計段階から予測する必要がある、その方法として FEM (Finite Element Method) が用いられている。しかし、実際の実験結果と比較を行い有効性の確認をした研究報告例が少ない。

そこで本研究では、R2R 生産方式における欠陥予測の手法確立を目的に FEM によるトラフの構造解析および実験との比較を試みた。その際、一般的な高分子材料である PET (Poly Ethylene Terephthalate) フィルムを用いて実験を行った。トラフ構造の撮影にはステレオ DIC (Digital Image Correlation) を用いて行い、実際の実験装置をモデル化した FEM 解析の結果と比較を行うことで有効性の確認を行った。

2. 実験方法

図 1 に実験装置の概要図を示す。この装置は 5 本のローラを介して PET フィルムを貼り合わせることで半永久的に搬送することが可能である。また、一対のローラの片側にミスアライメントをかけることでトラフを誘発することができる。この誘発したトラフを、2 台のカメラを用いたステレオ DIC で定量的に評価した。撮影の際、上部のローラ間をカトウ光研株式会社のハイスピードカメラ k8-USB を使用し、厚み 25 μm 、幅 210 mm、ミスアライメント角度 0.25°、速度 1.0 m/min、張力 143 N/m に発生したトラフを撮像して解析を行った。この実験装置における 4 本のローラ配置を FEM 上でモデル化し、解析条件としてフィルムは弾性体、ローラとの接触が生じる境界条件および大変形を考慮した非線形解析を行った。解析の際、トラフの発生方向は Z 軸とし、フィルムの全長 2.1 m を 5 mm の正方形メッシュで幅方向に 42、搬送方向に 420 のシェル要素で分割し、約 30 cm 搬送させた際の静的構造解析を行った。

3. 実験結果および考察

図 2 に FEM 解析による結果を示す。同図より、FEM 解析においてもトラフ状の変位が発生することを確認した。DIC 測定結果と FEM 解析結果を比較する際、フィルムが変形しやすい位置を考慮するのが効率的であるため、最もたわみやすいローラ間中央部を比較する。図 3 に張力 143 N/m における結果を示す。グラフの赤線は DIC 測定結果を、青線は FEM 解析結果を示している。同図より、トラフ高さに乖離が発生していることを確認した。これは、FEM 解析でフィルムを弾性体と扱っているため、ミスアライメントをかけた際に発生する応力集中部の変形を過剰に算出していることが考えられる。全体的な形状においてはどちらの結果も、大きな波が 2 本発生しており、2 本目の波の大きさが小さいことが一致している。また、間隔や発生位置においても概ね一致する傾向を示すため、FEM 解析を用いる事でトラフの変形形状を予測することが可能であることを確認した。

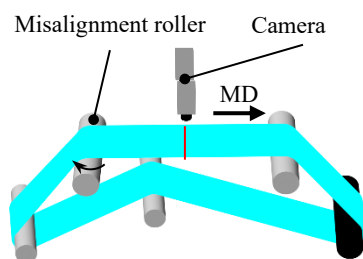


Fig.1 Experimental overview

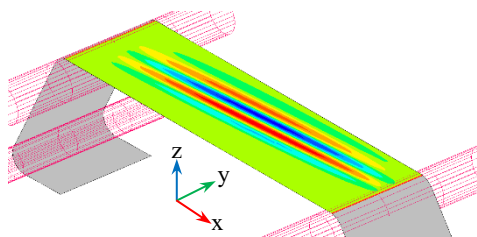


Fig.2 FEM analysis results of trough

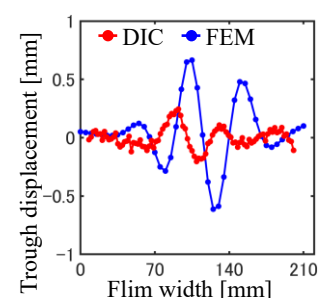


Fig.3 Comparison of DIC and FEM

4. 結論

R2R 生産方式における欠陥予測の手法確立を目的に、ステレオ DIC によるトラフ構造の測定および FEM を用いたトラフの解析結果を比較した。その結果、トラフの高さは乖離を示したが、全体的な形状を再現可能であることから FEM 解析は予測手法として有効性があることを確認した。

参考文献

¹ 橋本巨, “ウェブハンドリングの基礎理論と応用”, 加工技術研究会, (2010), pp.62-8

pn 接合構造を用いた SWCNT 膜によるデバイスの開発・性能評価

*玉井涼太(東海大学 工学研究科 応用理化学専攻)、**高尻雅之(東海大学 工学研究科 応用理化学専攻)

1. 背景, 目的

現在、実世界と仮想世界が相互連携した CPS/IoT(Cyber-Physical-System/Internet of Things)社会が注目されている。実世界と仮想世界を繋ぐためのセンサーに用いられる配線不要な独立電源として、熱電変換技術が注目されている。熱電変換技術を有した熱電変換材料として柔軟性があり、室温下で高性能である単層カーボンナノチューブ(SWCNT)に注目した。SWCNTは大気雰囲気中ではp型熱電性能を示し、SWCNTに界面活性剤をドーパントすることで長期的にn型熱電性能を示すことが知られている¹。本研究では、p型、n型それぞれを組み合わせたpn接合構造を用いたSWCNTデバイスの開発、性能評価を行った。

2. 方法

SWCNT分散溶液を作製した。条件として、p型分散溶液はSWCNT(SGCNT-ZEONANO SG101)0.08gとエタノール40mLを混合し、n型分散溶液はp型分散溶液に陽性界面活性剤となるDimethyldioctadecyl ammonium chloride (DODMAC)0.2gを混合した。作製した溶液をホモジナイザーで超音波分散した。

分散溶液作製後、真空濾過法を用いてバッキーペーパー(BP)を作製した²。作製したBPを200℃、1時間、Ar+H₂(5%)の条件で熱処理した。

試料作製後、BPのゼーベック係数と電気伝導率をpn接合部から5mm間隔で計9箇所測定した。測定後、BPを1cm×4cmの大きさに切り取り、ポリイミド(PI)、シクロオレフィンポリマー(COP)、ポリエチレンナフタレート(PEN)フィルムそれぞれに2枚ずつ貼り付けて2対のデバイスを作製した。作製したデバイスを図1に示す。作製したデバイスを50℃で全面加熱し、加熱前後の発生電圧を測定した。

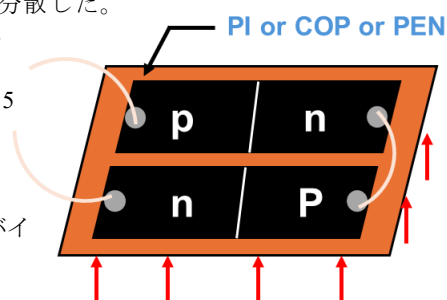


図1 デバイス概略図

3. 実験結果

図2にゼーベック係数測定結果、図3に発生電圧測定結果をそれぞれ示す。

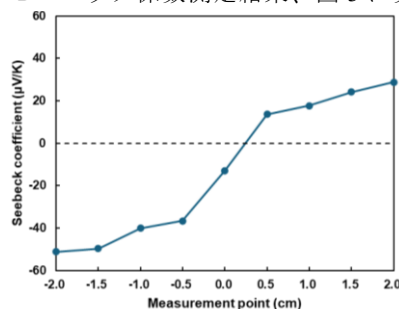


図2 ゼーベック係数測定結果

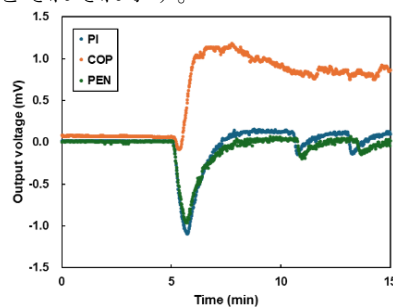


図3 発生電圧測定結果

4. 考察

図2より、ゼーベック係数は試料内でn型からp型へと変化したことが確認できた。また、pn接合部はn型の反応を示した。これは、n型部に含まれているDODMACがp型部へと拡散したからだと考えられる。

図3より、COPデバイスはPIデバイス、PENデバイスより発生電圧が高くなったことが確認できた。これは、基板によってSWCNT内の温度差が変化したため発生電圧が変化した。また、PIデバイス、PENデバイスは加熱直後発生電圧が下がったことが確認できた。これは、BP中心部より端部の温度が高かったため発生電圧が下がったと考えられる。

5. 結論

本実験では、p型、n型それぞれを組み合わせたpn接合構造を用いたSWCNTデバイスの作製、性能評価を行った。作製したBPのゼーベック係数、電気伝導率の値より試料内でp型からn型へと変化していることが確認できた。また、基板を変更することにより、デバイスの発生電圧が変化するが確認できた。

参考文献

- ¹ Y. Amma et al., Sci. Rep. 12 (2020) 21603.
- ² T. Komori et al., Diamond Relat. Mater. 136 (2023) 109929.

ディスペンサを用いた CNT 系の作製

*内田 圭祐（東海大学工学部材料科学科）、** 高尻 雅之（東海大学工学部応用化学科）

1. 背景, 目的

情報化社会の次の段階として、CPS/IoT 社会(Cyber-Physical System/Internet of Things)の到来が現実味を帯びつつある。この CPS/IoT 社会を支えるためには、大量のデバイスによるデータ収集が必要不可欠になる。しかし障害となるのがデバイス自体への電力の供給やデバイスの設置場所の制約といった問題になる。

この問題の解決策として熱電変換技術が着目されている。今回は設置場所の形状に囚われないデバイス開発への足掛かりを目的とした前提実験として SWCNT(Single-walled Carbon Nanotube)を用いて湿式紡糸法で糸の紡糸を行い、3次元的な動作が可能な SWCNT 糸の作製^[1]を行った。

2. 実験方法

SWCNT(日本ゼオン株式会社, SG101)、SDS(富士フイルム和光株式会社, Sodium Dodecyl Sulfate)、PEDOT:PSS(Sigma-Aldrich 社, Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(Styrenesulfonate))、イオン交換水をビーカー(50 mL)に投入し、超音波ホモジナイザー(SFX 250)を用いて、30 min/60%の条件で超音波分散を行い、0.2 wt%SWCNT 分散液を作製した。その後、ホットスターラー(iSTIR HP320)を用いて、0.2 wt%SWCNT 分散液を 80~120°C、600~800 rpm の条件で加熱による濃縮を行い、0.4 wt%SWCNT-Paste を作製した。作製した 0.4 wt%SWCNT-Paste に SA(富士フイルム和光株式会社, Sodium Alginate)を 2.0 wt%の分量になるように投入し、15 min 攪拌をおこなった。

作製した 2.0 wt%SA-0.4 wt%SWCNT-Paste をディスペンサに充填し、気泡を抜いたあとにシリンジポンプ(AS ONE, CT-10A/MR-1A)を用いて、メタノール中に直接紡糸した。紡糸した糸をスタンドに吊り下げる形になるように乾燥させる際に、糸の終端に重りを付け、自然乾燥させた。その後、作製した SWCNT 糸のゼーベック係数、電気伝導率、応力-ひずみを評価した。

3. 実験結果および考察

$P.F.$ (Power Factor)が低い値を取ったのは、ゼーベック係数よりも電気伝導率の値による要因が大きいと考える。電気伝導率が低い値を取った原因として、添加した SA が SWCNT 間での電子の移動を妨げ、結果的に正孔のキャリア移動度が低下してしまったためと考察する。また、40 wt%SWCNT 糸^[1]と比較して図 1 の応力が低い値を示したのは、添加した SWCNT の量が 10 分の 1 であったため、SWCNT 同士のバンドル形成が発生しにくかったのに加え、添加した PEDOT:PSS と SA が SWCNT のバンドル同士に割り込むような構造を取り、ファンデルワールス力による結合を阻害したためと考察する。

表 1 ゼーベック係数と電気伝導率と $P.F.$ の値

	電気伝導率 (S/cm)	ゼーベック係 数 ($\mu\text{V/K}$)	$P.F.$ ($\mu\text{W/m}\cdot\text{K}^2$)
This work	4.7	25.0	0.3
[1]	83.2	15~18	10.1

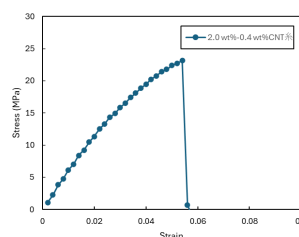


図 1 応力-ひずみ線図

4. 結言

本実験では、増粘剤として SA を用いた SWCNT 糸の作製とその熱電評価、引張試験を行った。この実験のさらなる詳細はポスター発表にて説明します。

5. 謝辞

本研究に行うにあたり、SWCNT を提供していただいた日本ゼオン株式会社様、分析装置を供与していただいた東海大学研究推進部技術共同管理室に厚くお礼を申し上げます。

6. 参考文献

[1] J.-Y. Kim, et al. Carbon, 133, pp.293-299 (2018).

CNT を用いた熱流センサの考案・製作

*中山大翔(東海大学工学部材料科学科)、**高尻雅之(東海大学工学部応用化学科)

1. 背景・目的

近年、省エネルギーの観点から、熱マネジメントという考え方が注目されている。工場や車などから出る廃熱の熱エネルギーを無駄なく活用するには、廃熱の制御及び制御の精度確認が課題となる。我々は、廃熱の制御確認に着目し、その解決法として「温度」では捉えきれない熱の流れを可視化する熱流センサの使用を提案する。現状の熱流センサは p 型半導体と n 型半導体の 2 種類の熱電素子を直列配置して出力を増幅しているが、多くの熱流センサは 1 種類の半導体に対して複数の材料を用いており、廃棄時における材料の分別が困難と考えた。本研究では、p 型半導体、n 型半導体として用いられる単層カーボンナノチューブ(SWCNT)を用いた熱流センサを考案・試作することで、環境負荷が無い熱流センサを目指す。

2. 方法

本研究で作製した熱流センサデバイスは、ポリイミドシート、p 型 SWCNT ペースト、n 型 SWCNT ペースト、導電性インキ(artience REXALPHA Conductive Silver Paste)、銅細線を用いた。p 型 SWCNT 分散液は、SWCNT 粉末(SG-CNT ZEONANO SG101)をエタノールに加え、n 型 SWCNT 分散液は、SWCNT 粉末、陽性界面活性剤ジメチルジオクタデシルアンモニウムクロリド(DODMAC)をイオン交換水に加え^[1]、それぞれ超音波ホモジナイザーを用いて分散し、作製した。作製した分散液を、ホットスターラーを用いて加熱しながら攪拌することにより濃度 0.6 wt% の SWCNT ペーストを作製した。作製後、図 1 に従って 4 対熱流センサデバイスを

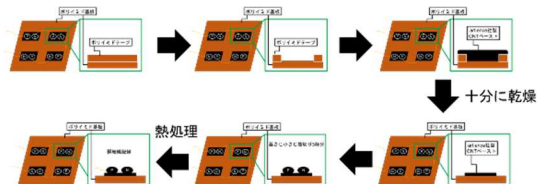


図 1 デバイスの作製手順

3. 実験結果

図 2 の結果より、作製したデバイスの検知時間は 304.30 s であった。次に、図 3 の結果から、熱流センサの検知時間は 302.95 s であった。最後に、熱電対の検知時間は 321.00 s であった。これらの結果から、今回作製したデバイスは熱流センサに近い検知を行ったことが分かった。

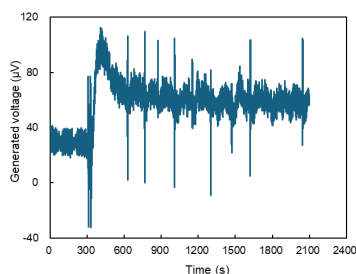


図 2 測定時間に対するデバイスの出力電圧

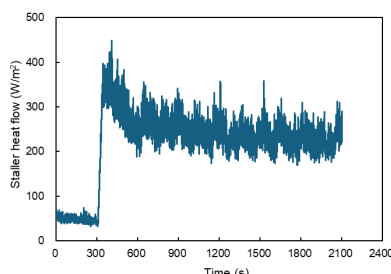


図 3 測定時間に対する熱流センサの熱流

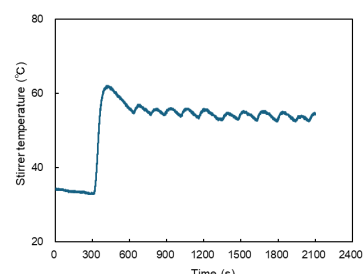


図 4 測定時間に対する熱電対の温度

4. 結言

作製したデバイスから出力電圧が得られたことから、今回作製したデバイスはデバイスとして機能し、熱流センサと近い検知を示すことが分かった。

5. 謝辞

本研究で用いた SWCNT (SG-CNT ZEONANO SG101)を試供して頂いた日本ゼオン株式会社に深謝の意を表します。

6. 参考文献

[1] Y. Amma, et al., Sci. Rep, 12 (2022) 21603.

ナノインデンテーション法を利用した Si 薄膜の群速度、フォノン平均自由行程の算出

*篠崎 義之（東海大学 工学部 材料科学科） **高尻 雅之（東海大学 工学部 応用科学科）

1. 背景・目的

近年、電子部品の小型化や高性能化に伴い電子機器の発熱が増加している。解消には、従来のマクロスケールでの熱伝導に代わり、ナノスケールにおける熱制御と熱輸送の理解が欠かせないと考えられている。熱に関連した測定方法や熱輸送理論、シミュレーションといったフォノンエンジニアリングの発展が、電子デバイスの放熱技術や熱電変換技術への応用に繋がるのではないかと関心が高まっている。本研究は、非晶質 Si 薄膜と多結晶 Si 薄膜の熱輸送変化を実験的に評価することを目的とした。フォノン平均自由行程算出のため、 3ω 法、ナノインデンテーション法を用い熱伝導率、ヤング率を求めた。結晶性が変化した場合の熱輸送特性を評価することは、フォノンエンジニアリングにおいて重要な研究だと考える。

2. 実験方法

アルミナ基板（フルウチ化学）上に圧力勾配式スパッタ装置（ケニックス）にて、非晶質 Si 薄膜を成膜した。続いて熱処理を行い、多結晶 Si 薄膜を作製した。作製した試料膜厚は、触針式表面形状測定器（BRUKER:DektakXT）を用いて測定した。結晶状態をラマン分光法（HORIBA:XploRA）、X 線回折法（XRD:X'Pert-MRD; Philips）を用いて評価した。ラマン分光測定レーザー波長は 532 nm、X 線回折法の X 線は Cu-K α 線（ $\lambda=0.154$ nm）にて行った。

Si 薄膜の熱伝導率の測定として、 3ω 法を行った。ヤング率の測定は、ナノインデンテーション法（ENT-NEXUS:Elionix）により行った。ナノインデンテーションにより得られたヤング率 E から、平均群速度 v_{ave} を算出した。平均群速度 v_{ave} 、 3ω 法で測定した熱伝導率 κ を用いて、式 (1) よりフォノン平均自由行程 Λ を算出した。Si 薄膜はドーピングを行わず電気伝導率が非常に低いことから、電子熱伝導も非常に低い。そのため測定した熱伝導率は格子熱伝導と見なせる。 C は定積比熱である。

$$\Lambda = \frac{3\kappa}{v_{ave}C} \quad (1)$$

3. 実験結果および考察

ラマン測定結果（図 1）から、熱処理した各試料は結晶化していることが確認され、520 cm^{-1} 付近で、ピークが確認された。図 2 に非晶質 Si 薄膜と多結晶 Si 薄膜の熱抵抗の関係を示す。 3ω 法で測定した熱伝導率には界面熱抵抗が含まれるため、界面熱抵抗を除いた熱伝導率は、非晶質 Si 薄膜 $\kappa = 1.2 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 、多結晶 Si 薄膜 $\kappa = 12 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ であることが推定された。図 3 に非晶質 Si 薄膜と多結晶 Si 薄膜のフォノン平均自由行程を示す。非晶質 Si 薄膜では約 0.37 nm、多結晶 Si 薄膜では約 3.2 nm となった。

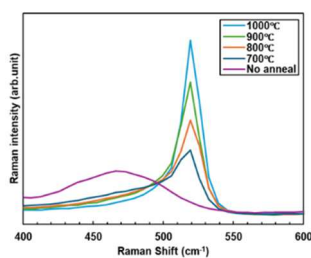


図 1 ラマン測定結果

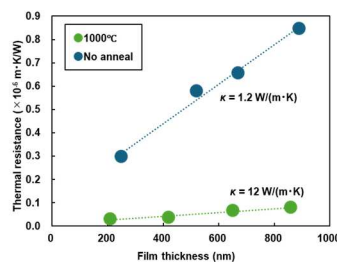


図 2 非晶質・多結晶 Si 薄膜の熱抵抗

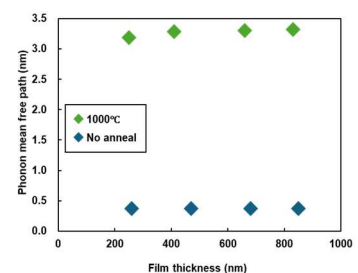


図 3 非晶質・多結晶の平均自由行程

4. 謝辞

本研究は、科研費（22H04953）の支援により実施しました。また、ナノインデンテーション測定にご協力頂いた室谷裕志 教授に感謝申し上げます。

5. 参考文献

[1] O. Norimasa et al, AIP Adv.11 075216 (2021).

ステンレス鋼の表面状態がろう付時のぬれに及ぼす影響

*榎野晴（東海大学工学部材料科学科）、鎌田龍介（東海大学工学研究科応用理化学専攻）、人見伊吹（東海大学工学研究科応用理化学専攻）、**宮沢靖幸（東海大学工学部機械工学科）

1. 背景, 目的

銀ろうとは銀を主成分としたろう材で、見た目は銀色だが、銅や亜鉛などを含んでいる。そのため銀ろうは合金であり、組成による違いはあるが、液相線温度が約 700℃である。また、ろう材として扱いやすく、強度が高い事も特徴である。接合面積が小さい微小部品であっても非常に強い接合強度を示すため外れない。そのため、接点やセンサー部品などにも銀ろうが採用されることが多い。前述した通り、液相線温度が約 700℃と高いため、高温下での使用も可能である。ろう付の場合、隙間に溶融ろう材が浸透することで、内部の気密性が高く保たれる。またステンレス、鉄、合金なども銀ろうでろう付することが可能である。しかし、銀ろうのステンレスへのぬれは悪いと言われている。先行研究により銀ろう材に Ni を添加することでステンレスへのぬれ性が向上することが報告されている¹。また母材の表面状態はぬれ性に影響を及ぼすと言われている。そこで本研究は、ステンレス鋼の表面状態がぬれに及ぼす影響を検討する。

2. 方法

母材は SUS304L を使用した。また、ろう材には、既存の Ag-Cu 共晶ろう材 (BAg-8) へ Ni 添加した Ag-Cu-Ni 系ろう材 (BAg-8b) を使用した。今回使用したろう材は箔状を使用した。

ぬれ広がり試験には横型真空炉を使用し、試験温度は 950℃とした。試験時間を 10min とし、昇温速度を 20K/min で行った。ぬれ広がり試験片形状を図 1 に示した。

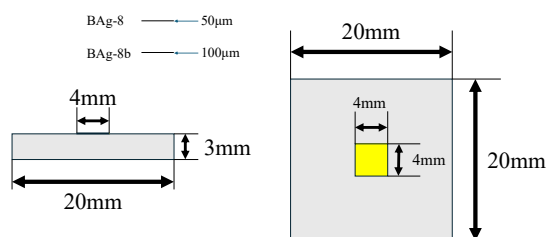


図1 ぬれ広がり試験片概略図

エメリー紙#1500 まで研磨した 20 mm×20 mm×3 mm の母材と王水で表面処理をしたステンレス鋼上に箔状ろう材 0.02 g を設置し、上記に示したぬれ広がり試験条件で試験した。試験後、ろう材のぬれ広がり領域をマイクロスコープで撮影した。試験条件は、一般的なろう付条件と同じである。

3. 実験結果

代表的なぬれ広がり試験結果を図 2～5 に示した。画像解析ソフトを用いて、ぬれ広がり面積を計測し、評価

した。

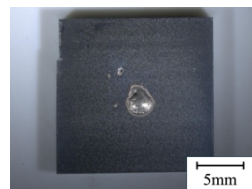


図2 研磨したステンレス鋼板と BAg-8 を用いた試験片外観

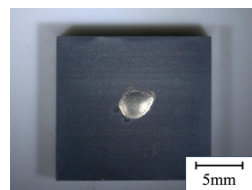


図4 研磨したステンレス鋼板と BAg-8b を用いた試験片外観

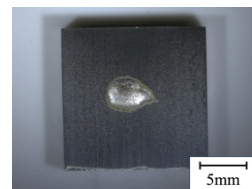


図3 表面処理したステンレス鋼板と BAg-8 を用いた試験片外観

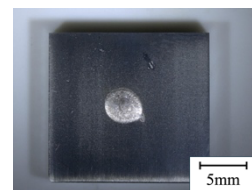


図5 表面処理したステンレス鋼板と BAg-8b を用いた試験片外観

表 1 ぬれ広がり率

	ぬれ広がり率
BAg-8	105%
BAg-8b	33%

図 2、4 のぬれ広がり面積を 100 とした時、表面処理を施した面積 (図 3、5) のぬれ広がり率は 105%、133% と向上しており、表面処理によりぬれが向上することが分かった。

4. 考察

表面研磨のみを施した場合より表面処理を施した試験片のぬれ広がりが向上した原因は、表面の凹凸部分が増えたからだと考えた。本実験の表面処理はエッチングと言われる工程と同じである。エッチング処理後は金属の表面は微細な凹凸が形成される。研磨のみを施した表面より、凹凸が細くなったことでろう材のぬれ広がりが向上したと考察した。

5. 結論

ステンレス鋼をエメリー紙#1500 で研磨した場合とエメリー紙#1500 で研磨した後、王水で表面処理した場合では王水で表面処理した試験片のろう材のぬれ広がりが向上した。

参考文献

- ¹ Sanchez L, Carrillo D, Rodriguez E, Aragon F, Sotelo J, Toral F (2011) Development of high precision joints in particle accelerator components performed by vacuum brazing. J Mater Process Technol 211:1379-138

SWCNT 薄膜の熱処理の影響

*ムハンマド ハジク ビン ハイリル アズリ (工学部材料科学科)、**高尻 雅之 (工学部応用化学科)

1. 緒言

「熱電発電」とは熱電現象の1つであるゼーベック効果を応用した、熱を直接電気に変える発電方法であり、自立型センサデバイスのような省電力かつ配線の必要がないエレクトロニクスに適した技術である。単層カーボンナノチューブ(SWCNT)は半導体的性質を有し、かつ柔軟性および室温で熱電発電が可能であることから、熱電変換材料として多くの期待を寄せている。Elsehly らや Sheng らが、MWCNT の 1200°C の熱処理、SWCNT の 300~500°C の熱処理による熱電特性の向上は確認している。しかし、1000°C までの熱影響を総合的に報告されている例は少ない。本研究では、SWCNT を最高で 1000°C まで熱処理し、熱電特性の最適な条件を探ることを目的とする。

2. 実験方法

SWCNT 薄膜を作製するために ZEONANO SG101 SWCNT を用いた。超音波ホモジナイザー(Branson SFX 250)を用いて、SWCNT をエタノール中に分散した(分散出力 60%, 分散時間 30 min)。0.2 wt% SWCNT 分散溶液 40 mL を 30 min 真空ろ過し、薄膜を作製した。

作製した SWCNT 薄膜は 2×2 cm サイズに切り取り、電気炉の中央部に設置して Ar 雰囲気中で熱処理を行った。熱処理実験は 400~1000°C で 100°C ずつ温度を変えながら行い、各熱処理温度で 1 試料を作製した(温度保持時間 1 h, Ar ガス流量 200 ccm, 昇降温速度 10°C/min)。

熱処理 SWCNT 薄膜の熱電特性を評価するために、ゼーベック係数 S と電気伝導率 σ を用いた。ゼーベック係数 S は試料に温度差を与え起電力を測定し、 $S = \Delta T / V$ で算出した。電気抵抗の測定には 4 探針法を用いた。測定は試料中の 9 か所の電気抵抗 R を測定し、その平均と試料の膜厚 d を用いて算出した。

3. 実験結果および考察

SWCNT 薄膜を処理した結果、SWCNT 薄膜の電気伝導率は 400°C で急激に低下し、ゼーベック係数は 400~800°C で 10 $\mu\text{V/K}$ ほど上昇した。熱処理温度の上昇につれて電気伝導率は正比例し、ゼーベック係数はほぼ一定の値になった。ラマン分光は、熱処理によって G/D 比は 400°C 試料で低下したものの、熱処理温度上昇に比例して増加した。RBM のピーク位置に関してはほぼ同じだったため、電気伝導率の低下はバンドル直径変化に由来するものではないと考えられる。D バンドのピーク位置に関しては、400~500°C の温度帯において、熱処理温度上昇によってピークが 1319 cm^{-1} から 1325 cm^{-1} にシフトし、500~700°C でピークが 1319 cm^{-1} に戻った。SWCNT は自然に酸素でドーピングされているが、D バンドのシフトの原因は酸素ドーピングの状態が熱処理によって変化したからだと考えられる。

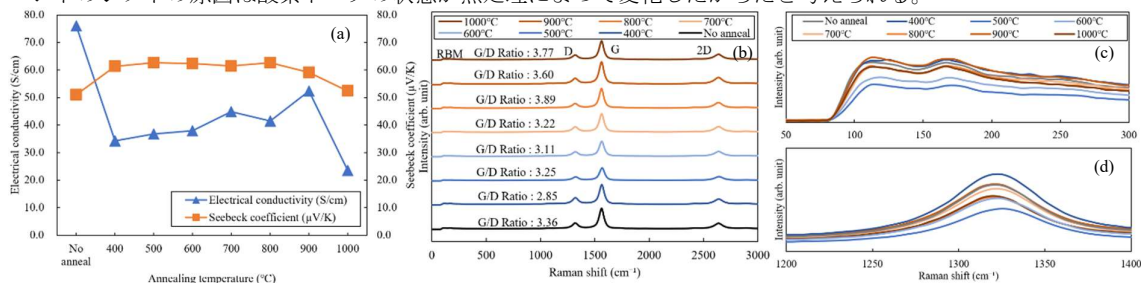


Fig. 1 (a) 電気伝導率およびゼーベック係数の熱処理温度依存性

(b) 熱処理 SWCNT 薄膜のラマン分光と G/D 比 (c) RBM (d) D バンドのピークシフト

4. 結言

本研究ではそれぞれの熱処理温度に対して試料 1 枚を用いて測定したものであり、熱処理した結果電気伝導率は 400°C で急低下し、ゼーベック係数は 400~800°C で上昇した。ラマン分光から、電気抵抗の結果は SWCNT のドーパントに変化があると考えられる。今後は、電気伝導率低下の原因を探るために XPS 分析や DTG 分析など様々な分析を行う予定である。

参考文献

- 1 E.M. Elsehly, E.M.M. Ibrahim, M.A. El-Hadek et al, Annealing effect on the thermoelectric properties of multiwall carbon nanotubes, Phys. E, 146, pp.115566 (2023).
- 2 M. Sheng, Y. Wang, C. Liu, Y. Xiao, P. Zhu and Y. Deng, Significantly enhanced thermoelectric performance in SWCNT films via carrier tuning for high power generation, Carbon, 158, pp.802-807 (2020).

炭素繊維と PPS(ポリフェニレンサルファイド)の複合材料の機械的特性に及ぼす電子線照射処理の効果に関する研究

*八木 響希(東海大学工学部精密工学科)、入江 紘嵩(東海大学大学院工学研究科)、佐川 耕平(東海大学工学部機械システム工学科)、西 義武(東海大学名誉教授/神奈川県立産業技術総合研究所 KISTEC)、**内田 ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科)

1. 背景および目的

炭素繊維強化熱可塑性樹脂複合材料(CFRTP)は、熱可塑性により成形加工が容易でリサイクル性に優れるという利点と、熱可塑性樹脂は炭素繊維(CF)との接着力が低いことから、強度が低くなってしまうという欠点がある。先行研究では、炭素繊維強化樹脂複合材料(CFRP)への加速電圧 250 kV 程度までの低エネルギー電子線照射による強度向上が確認されている[1]。本研究では、PPS と電子線照射処理を施した CF の複合材料と、PPS と未処理 CF との複合材料を作製・比較し、照射線量の違いが曲げ均質変形抵抗特性に与える影響を評価した。

2. 方法

加速電圧 175 kV、250 kV で、照射線量 43 kGy、129 kGy、215 kGy の条件下で CF に両面電子線照射処理を行った。未照射を含む計 7 条件で、PPS シート(4 枚)と CF(3 枚)を交互に積層し CFRTP を作製。各条件 3 試料(長さ 100 mm、幅 15 mm、厚さ 1.5 mm)を切り出し、3 点曲げ試験で機械的特性を評価した。Fig. 1 の応力-歪線図から、照射前後試料の最大曲げ応力時までの面積を求め比較した。この面積を曲げ均質変形に必要なエネルギーに対応する靱性と定義した。

3. 実験結果

Fig. 1 より適度な電子線照射により、応力破断に至るまでの面積が大きくなり、靱性が增大することを見出した。250 kV 照射では線量による靱性や均質変形歪の平均値は低下が多いが、175 kV では高まる場合が多い。Fig. 2 と Fig. 3 に示すように、加速電圧 175 kV で、215 kGy の照射時に 30 %前後靱性と均質変形歪の平均値が高くなることを見出した。

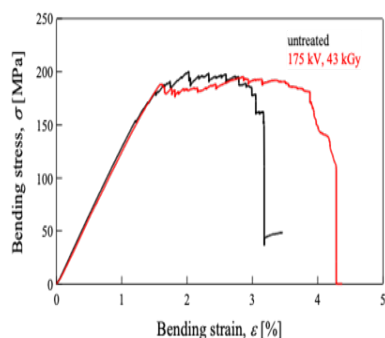


Fig. 1 照射線前後の応力歪曲線

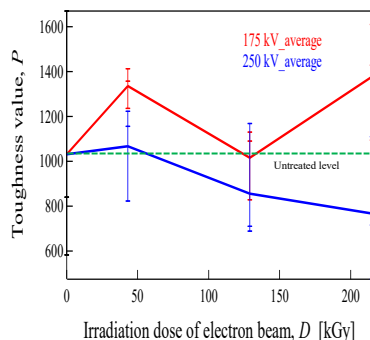


Fig. 2 照射線量による靱性の比較

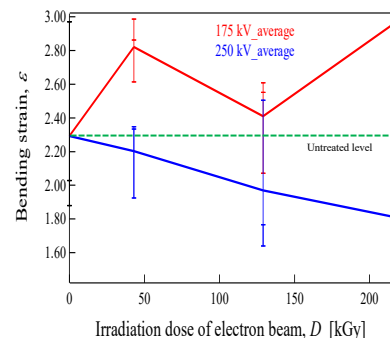


Fig. 3 照射線量による均質変形歪の比較

4. 考察

電子線照射により CF 全体のダングリングボンド密度は低下し、クラック発生と成長が抑制されるとの先行報告事例がある[2]。しかし、電子線照射により形成されたダングリングボンドは、回復現象で表面に抜け、CF 表面でのダングリングボンド密度は向上するため、活性化され、高分子材料への架橋効果で、接着したと推察される。また、250 kV では過剰な電子線浸透により CF 内のダングリングボンドが過度に消滅し、PPS との結合が阻害された可能性が高い。

5. 結論

CF への電子線照射処理が CFRTP の機械的特性に与える影響を評価した結果、低エネルギー電子線照射処理による靱性向上が確認された。本研究実施条件範囲における照射電子線の最適条件は 175 kV、215 kGy である可能性が高いと結論付けられる。

参考文献

- [1] 水谷 明博ら, 『炭素繊維強化プラスチックの電子線照射による強靱化』, 日本金属学会誌, **67**, (2003), 201-204.
- [2] 井上 恵介ら, 『炭素繊維強化型ポリマーの電子線照射によるシャルピー衝撃値の向上』, 日本金属学会誌, **70**, (2006), 461-466.

炭素繊維強化ポリカーボネートの機械的性質に及ぼす加速電圧を制御した電子線照射処理の影響

*佐藤 史也(東海大学大学院工学研究科)、**佐川 耕平 講師(東海大学 工学部 機械システム工学科)、**内田ヘルムート貴大 准教授(東海大学 工学研究科)、**木村 英樹 教授(東海大学 工学部 機械システム工学科)、**西 義武 名誉教授(東海大学)

1. 研究背景

炭素繊維強化ポリカーボネート(Carbon Fiber Reinforced Thermo-Polycarbonate: CFRT-PC)は炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Thermo-Plastics: CFRTTP)の一種であり、その優れた比重強度から構造材料などの用途として注目されている。

CFRT-PC は母材にポリカーボネート(PC)、強化剤に炭素繊維(CF)を用いた複合材料である。CFRP は母材となるエポキシと CF の界面強度が高く衝撃強度に優れる。対して CFRTTP は母材となる熱可塑性プラスチック(TP)と CF の界面強度が低く、CFRP に比べ衝撃強度が劣る。

本研究では照射線量一定で加速電圧を変化させた電子線処理を CFRT-PC に行い、TP と CF 間の接着性を改善することで衝撃強度の向上を目的とした。

2. 方法

電子線(EB)照射条件

本研究の EB 処理ではを使用した。EB 照射条件は以下に示す。照射線量は以下の式で求められる。

$$D=(K \cdot I \cdot N)/(V/60) \quad (\text{kGy}) \quad \cdots (1)$$

EB 照射線量 D は K 値、照射電流 I (mA)、照射回数 N(回数)に比例し、コンベア速度 V (m/s)に反比例する。K 値は装置固有の値であり加速電圧によって変動する。本研究では加速電圧 150 kV, 170 kV, 200 kV, 225 kV それぞれの電圧において照射し照射条件を制御した。以下に装置の模式図を示す。

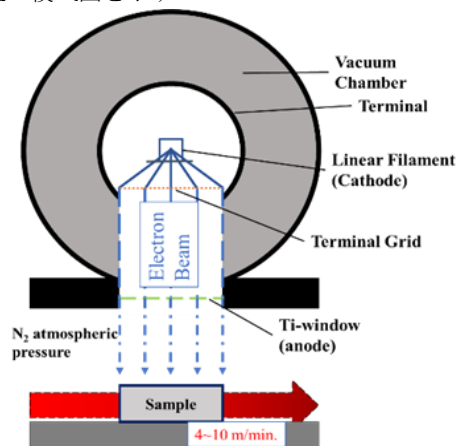


Figure1 シャルピー衝撃試験装置模式図
シャルピー衝撃試験

試料片には厚さ 2 mm の CFRTTP-PC (Formosa Plastics Co.製)を使用した。機械的強度の評価としてシャルピー衝撃試験を行った。試験方法は JIS K7077⁽²⁾に準拠した。

3. シャルピー衝撃試験結果

シャルピー衝撃試験結果を Figure 2 に示す。

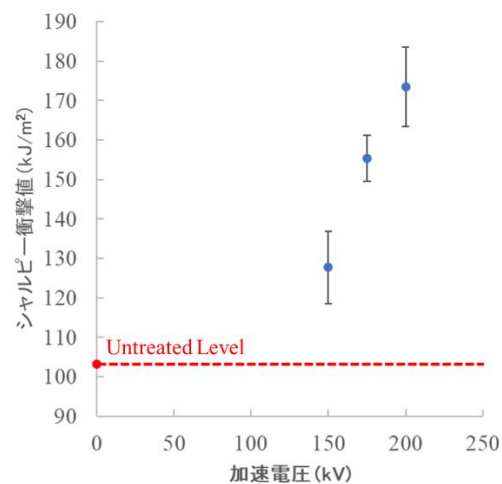


Figure 2 加速電圧とシャルピー衝撃値の関係

4. 考察

本実験では未照射の試料よりも電子線照射した試料がシャルピー衝撃値が高い傾向を確認した。本実験における衝撃値の最大となる条件は 200 kV, 43 kGy を確認した。150 kV, 170 kV においては未照射よりも衝撃値が増加する傾向を確認した。

5. 結論

本研究において加速電圧制御した電子線処理を行うことで CFRT-PC の衝撃値を向上したことを確認した。

加速電圧を増加させるとシャルピー衝撃値も増加する傾向を確認した。

本実験では 225 kV 43kGy の条件においてが衝撃値が最大となるのを確認した。

参考文献

- 1) R. Christenhusz and L. Reimer: Z. Angew. Phys. 23 (1967) 396-404.
- 2) Japanese Industrial Standards K 7077-1991.

液中プラズマ法を用いた Pt 代替触媒の作製と燃料電池への応用

発表者 3CEIM026 朱洪廷 指導教授 庄善之教授

1. 【背景 - 目的】

本研究では、燃料電池用のプラチナ以外の金属を用いた金属触媒の可能性を探ることが提案されている。

2. 【実験方法】

1. 純水 40ml とカーボンブラック 18.9mg を混合し、混合液を作製した。
2. 混合液で電極に 2 本パラジウム金属線を入れて、間隔を 1mm を設定し、電極にパルス電源を接続した。
3. パルス電源からの印加電圧を 2.8kV、周波数 30kHz に設定し、20 分間プラズマを発生した。作製した触媒を乳鉢に移し、130℃ で 2 時間乾燥し、水分を蒸発した。
4. 粉末状の触媒に純水 112.6 μ l、ナフィオン液 112.6 μ l を混合し、カーボンペーパーに塗布した。
5. カーボンペーパー (3X3 cm) を 2 枚作製し、MEA を作製された。
6. 作製した燃料電池を評価し、発電性能を測定した。

3. 【実験結果】

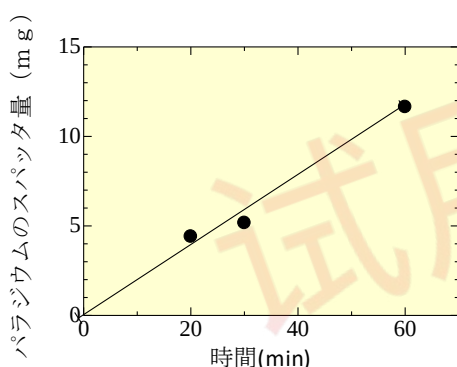


図 1： 時間に対するパラジウムスパッタ量

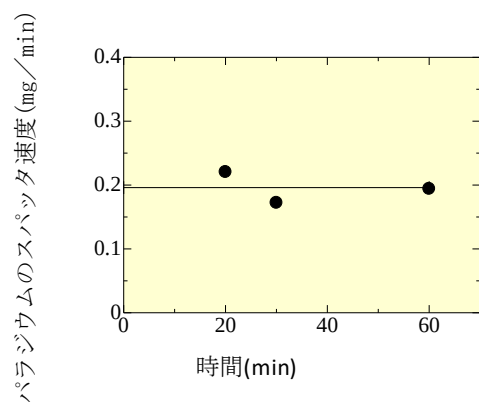


図 2： 時間に対するパラジウムスパッタ速度図

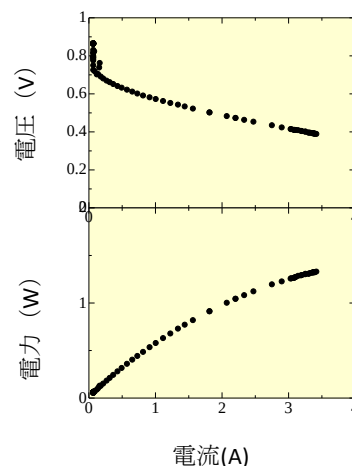


図 3： パラジウム燃料電池の電流に対する電圧と電力の関係図

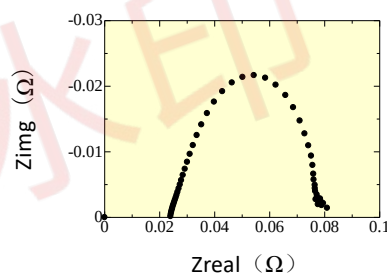


図 4： コールコールプロット図

5. 【考察】

1. 時間が増えると、パラジウムのスパッタ量が増える。
2. 作った燃料電池を評価し、電圧、電流、電力、コールコールプロットのデータを見、パラジウムは良い原材料だと思う。

6. 【結論】

パラジウムにはプラチナに代わる可能性があると考えられる。

7. 【参考文献】

1. Yilian, Yu Hongmei, 「Hydrogen Fuel Cell」, Beijing, Chemical Industry Press, 2021.5, 76-77
2. Yoshiyuki Show and Yutaro Ueno, 「Formation of Platinum Catalyst on Carbon Black Using an In-Liquid Plasma Method for Fuel Cells」, Department of Electrical and Electronic Engineering, School of Engineering, Tokai University, 31/01/2017, 1-3

ステンレス鋼ろう付時の界面反応の解析

*藤田 萌（東海大学工学部材料科学科）、植松 菜々子（東海大学工学研究科応用理化学専攻）、鈴木 光河（東海大学工学部材料科学科）、**宮沢 靖幸（東海大学工学部機械工学科）

1. 背景, 目的

黄銅はPbを添加することで切削性を向上させ、加工性を向上させることで実用化された。しかし、2003年の飲料水水質基準法改正により、Pbの代替元素としてBiやSiなどを添加したPbフリー快削黄銅が開発された。また、代替元素を添加したPbフリー快削黄銅の接合性は低い場合があると言われている¹⁾。SDGs達成に必要なマルチマテリアル化には、異種金属材料のろう付が必須と言われている²⁾。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、より多くの場所で活用できることが見込まれており、特に、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が必要と言われている³⁾。そこで、健全なろう付部を得るために、Pbフリー快削黄銅とステンレス鋼との異種金属材料のろう付に検討を加える必要がある。

先行研究では、黄銅とステンレス鋼のろう付において、ろう付温度や母材添加元素のろう材層厚さに及ぼす影響が不明確である事が判明した。そこで、本研究では先行研究の結果を考慮し、ろう付温度などがろう材層マイクロ組織やろう材層厚さや界面反応などに及ぼす影響を詳細に明らかにする事を目的とする。

2. 方法

2.1 供試材

試験片は直径15mmの丸棒からそれぞれ、黄銅(長さ15mm)、SUS304(長さ5mm)に切り出して準備した。表1に黄銅母材の化学組成を示した。ろう材には箔状BAg-7(200μm)を選定した。フラックスは銀ろう用フラックス(ナイス社製F200)を用いた。図1に試験片概略図、図2に治具固定時の模式図を示した。

表1 黄銅の組成表

種類	Cu	Fe	Pb	Sn	Cd	Si	その他元素	Zn
C3604	59.1	0.2	3.2	0.3	-	-	-	残部
C4621	61.2	0.01以下	0.20	0.20以下	-	-	0.4以下	残部
C6931	75.5	-	0.09	0.09以下	0.005以下	3	-	残部

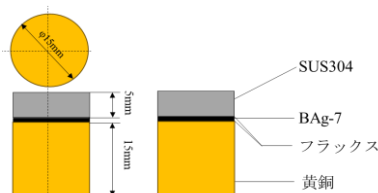


図1 試験片概略図

2.2 ろう付条件とマイクロ組織観察

アルゴンガス雰囲気下で横型電気炉を用いてろう付を行った。ろう付温度は680、710、740℃とし、ろう付時間を5分とした。なお、ろう付時間は、試験片に固定した熱電対で温度測定を行い、ろう付温度に達した時を0分とし、ろう付時間を計測した。ろう付した後の試験片を切断し、樹脂埋めをした。その後、研磨し、ろう付部断面マイクロ組織を光学顕微鏡で観察した。

3. 実験結果

全てろう付条件で健全なろう付部が得られた。典型的なろう付部断面マイクロ組織を図2に示した。ろう付温度680℃の場合である。



図2 ろう付部断面マイクロ組織
C3604 (左) C4621 (中央) C6931 (右)
上部が黄銅、下部がステンレス鋼

図2の結果から、C4621を用いた場合、C3604を用いた場合と比較して、ろう材層厚さが厚くなった。また、C6931を用いた場合、ろう材と黄銅の界面反応が顕著に進行している事が判った。

また、ろう材とステンレス鋼との界面形状が直線ではなく、曲率を持った形状となっている。これは、ろう材/ステンレス鋼界面での反応が進行した事を表していると考えた。

4. 考察

ろう材/黄銅母材との界面反応がろう材層厚さに影響を及ぼしている。界面反応は溶解反応と考えられ、黄銅母材の組成が影響を及ぼしていると考えた。EPMAによる元素分析結果を利用して詳細な考察を行う予定である。

5. 結論

ろう材/黄銅母材の界面反応（主に溶解反応）がろう材層厚さとマイクロ組織に強く影響を及ぼしていた。

参考文献 (MS ゴシック, 9ポイント)

- Y. Kawada, J. Adv. Sci., 3, pp. 14-17 (1991).
- E. Yabe and R. Fukui, Jpn. J. Appl. Phys., 26, pp. 1179-1184 (1987).
- A. Handstein, J. Schneider, K. Zaveta and Z. Kalva, Proc. of the Fourth Int. Conf. on Rapidly Quenched Metals, (Japan Institute of Metals, Sendai, 1981) pp. 989-99

Al-Mg 合金の機械的特性と熱処理に関する研究

*川畑 秀太(東海大学工学部精密工学科)、吉田 将樹(東海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)、内田 ヘルムート貴大(東海大学工学部精密工学科)

1. 研究背景および目的

Al 合金は自動車や鉄道など、私たちの日常生活に密接に関わり多くの製品に利用されている。これらの移動する車体においては軽量化が重要な課題であり、耐衝撃性の向上も求められていることから、Al 合金の機械的特性に注目が集まっている。

本研究では、市場で最も多く流通しており、高強度な素材として知られる一般的かつ高強度なアルミニウム-マグネシウム合金 (Al-Mg 合金, A5052) [1][2]に焦点を当て、その機械的特性である硬さについて調査を行った。具体的には、熱処理前後の試料の表面強度の評価にビッカース硬さ試験を実施し、熱処理による組織調整が合金の機械的特性に及ぼす影響を検討した。

2. 方法

2.1 試料準備

Table 1 は実験に用いた試料の寸法を示す。A5052 の板試料を試料とした。

Table 1 試料の寸法

試料	寸法[mm]
A5052	40×90×3

2.2 ビッカース硬さ試験

試料表面の 16 箇所にダイヤモンド製四角錐圧子を試料に向けて垂直に押し当て、生成された圧痕の対角線の大きさから表面の硬さを求める試験方法である。本実験では、試料の表面の硬さを検討するため、ビッカース硬さ試験を行った。試料表面に生成された圧痕の対角線長さから硬さを算出した。硬さ[HV]は以下の式(1)および式(2)で算出した。

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad (1)$$

$$HV = 1.8544 \frac{F}{d^2} \quad (2)$$

ここで、 F は荷重[kgf]であり、 d_1 および d_2 はそれぞれ圧痕の縦と横の幅[mm]である。

3. 実験結果

Fig.1 は熱処理前の段階の A5052 の硬さ試験後の圧痕のデータ分布を示す。ビッカース硬さ試験の結果は対象とする表面の状態に依存するためデータがばらつきやすいので、メディアンランク法を用いて作成した。縦軸は累積確率を、横軸は A5052 のビッカース硬さの値を低い順に左から並べた。試料の算出した硬さの平均は $HV=94.1$ 、中央値は 93.3 の数値が得られた。また、標準偏差は 8.76 の数値が得られた。

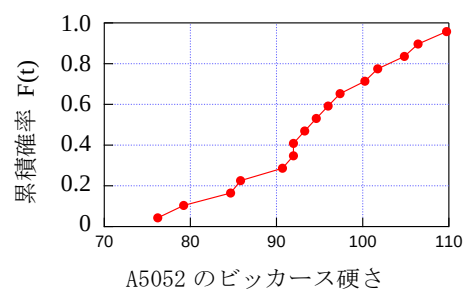


Fig.1 A5052 の硬さ試験後の圧痕のデータ分布

4. 考察

熱処理前の段階での A5052 合金の硬さ試験の結果より Al 合金の硬さの基準値である 45~100 の範囲内[3]で高い数値が得られたが標準偏差が大きく生じた。この原因としては、圧子の先端が上手く試料に負荷できておらず負荷状態の不均一性だと考えられる。

5. 結論

本研究では、A5052 の板試料を用いて熱処理前の状態にビッカース硬さ試験を行い、機械的特性である硬さについて検討した。Al 合金の硬さの基準値の範囲内で高い数値が得られた。

参考文献

- [1] kabuki connect 『A5052:アルミニウム』
<https://www.kabuki.io/guide/metal/aluminum/a5052/> (参照 2024-09-24)
- [2] 鉄道車両の部屋 『アルミ車両の歴史』
https://www.aluminum.or.jp/railway_vehicle/history/index.html (参照 2024-09-21)
- [3] toishi.info 「金属硬度の一覧表と比較」
<https://www.toishi.info/metal/hardness.html> (参照 2024-09-30)

箔状ろう材を用いた固液共存温度域のろう付

*村山侑優(東海大学工学部材料科学科)、小林昂太郎(東海大学総合理工学研究科総合理工学専攻)、**宮沢靖幸(東海大学工学部機械工学科)

1. 背景, 目的

黄銅とは Cu と Zn の合金であり、適度な粘り気があり、軟らかすぎない硬度があり、加工がしやすく、熱伝導率が高い合金である。切削加工性や熱伝導性に優れており、耐食性も高いことから、台所やトイレなどの水回りの配管や継手に使用されている。従来の快削黄銅には、切削性を向上させるために Pb を添加した黄銅が使用されていた。しかし、配管などで Pb の含有された快削黄銅を使用した場合、人体に悪影響があることが厚生労働省などから発表された。そこで、Pb の代替元素が求められた。そこで登場したのが、Bi や Si が添加された Pb フリー黄銅である。

また、製品の高性能化を図るため、配管には強度や耐食性に優れたステンレス鋼とバルブには黄銅を用いた異種金属同士の組み合わせによる製品が増えている。この接合方法として、主にろう付が使用される。ろう材には銀ろう材を用いられる。Pb フリー黄銅とステンレス鋼のろう付において、Bi がろう付性に悪影響を及ぼすことが、先行研究によって明らかとなった。

¹⁾ 黄銅母材に含有されている Bi が 750℃付近でろう材層へ移動してしまうため、接合部で接合不良が発生する。²⁾ そこで、本研究では、より低温度域でのろう付が可能であるかを確認するため、ろう材の固相線温度近傍でろう付を行い、健全なろう付体を得ることを目的とした。

2. 方法

本実験では、黄銅母材に C6803 を選定した。ステンレス鋼には、一般的なオーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 を選定した。ろう材に箔状銀ろう材 BAg-7 を選定した。厚さは 150 μm である。BAg-7 の固相線温度は 620℃、液相線温度は 650℃である。箔状ろう材を用いることで、固液共存領域でのろう付が可能となると考えた。フラックスには銀ろう用フラックス Metallux304 を用いた。フラックスの活性化温度は 400～900℃である。横型電気炉を用いて、アルゴンガス雰囲気下でろう付を行った。ろう付温度は 600、620、640℃で、ろう付時間は 30min である。

母材 C6803 を長さ 15 mm、母材 SUS304 を長さ 5 mm に切断した。図 1 に試験片の概略図を示した。母材表面(ろう付面)を 1500、2000 番の耐水ペーパーを用いて研磨を行った。母材に Metallux304 を塗布して治具にセットし、横型電気炉に挿入しろう付した。

ろう付した後、中速カッターを用いて半分に切断した。研磨後、光学顕微鏡を用いてミクロ組織観察を行った。

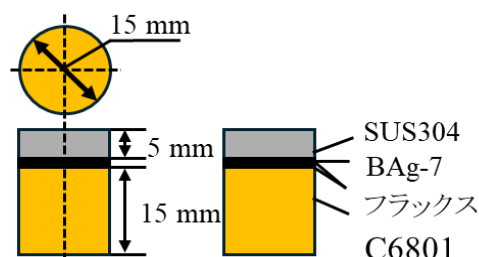


図 1. 試験片概略図

3. 実験結果

600℃でろう付した場合、ろう付不良が発生した。電気炉から取り出し、試験片を切断した際、接合部でろう付体が剥離してしまった。これはろう材の固相線温度以下であったため、ろうが十分に熔融しなかったことが原因と考えられる。³⁾

620℃と 640℃ではろう付が可能であった。両者を比較したところ、ろう材層の厚さが違うことが分かった。また、640℃でろう付した試験片にはボイドが多く観察された。

4. 考察

600℃でろう付した試験片が、ろう材層/SUS 界面で剥離した理由は、次の通りと考察した。黄銅側に添加されている Zn がろう付中にろう材へ移動し、ろう材の液相線温度を下げ、ろう材が熔融し、ろう付は可能だった。一方、ステンレス鋼ろう付面のフラックスによる酸化皮膜除去が不十分であり、剥離したと考えた。

ろう付温度 640℃の場合、多数のボイドが観察された原因は、フラックスから脱離したガスがろう付部外部へ逃げきれなかったと考えられる。

5. 結論

600℃の場合、黄銅側ろう付面はぬれ、ろう付されたが、ステンレス鋼側ろう付面はぬれ不良が発生した。また、ステンレス鋼の熱伝導率が黄銅より悪いいため、ろう材が溶け切れず接合できなかった。ろう付温度 620、640℃で、黄銅/SUS304 のろう付は可能だった。

参考文献

- 1) 小林 昂太郎, 長尾 晃裕, 宮沢 靖幸, 金崎 文雄: 銅と銅合金, 62 (2023), P134-138.
- 2) 吉田知広, 佐藤拓実, 宮沢靖幸, 降旗恭平, 黒瀬一人: 銅と銅合金, 61 (2022) P248-253.
- 3) 川和 高穂, 佐藤 秀樹, 宮原 忍, 小谷野 敬之, 根本 秀太郎: 鉄と鋼, 60 (1974), p.206.

CNT 膜作製における超音波ホモジナイザーの分散条件探索

*落合秀弥(東海大学工学部材料科学科)、**高尻雅之(東海大学工学部材料科学科)

1. 緒言

Internet of Things (IoT) の拡大から、現実の情報を可視化するためのセンサーが数多く必要となっている。それにあたり、メンテナンスや配線の問題から、高温・低温部分の温度差で発電する熱電発電が適している。熱電変換材料として SWCNT を用いた研究が数多く行われている^[1]。SWCNT 自立膜 (BP: バッキーペーパー) の作製において SWCNT 粉末を用いた分散溶液を使用する。溶液の分散条件は BP の性能に大きな影響を与えるため、超音波ホモジナイザーの分散時間や出力を変更し、傾向・最適条件を探索する。

2. 実験方法

本研究では SWCNT 粉末 (SG-CNT ZEONANO SG101) とエタノールを超音波ホモジナイザーで分散した 0.2wt%SWCNT 分散溶液を減圧濾過することで BP を作製した。超音波ホモジナイザーの分散時間及び出力を変更し各試料を作製した。その後、BP のゼーベック係数、電気伝導率、膜厚を測定した。また、ラマン顕微鏡を用いて CNT の欠陥を評価した。

3. 実験結果・考察

電気伝導率は分散時間及び分散出力に比例して増加した。これは、時間及び出力の増加によって CNT のバンドルがより細かく分散されたためと考えられる。次に、ゼーベック係数は、分散出力 10%において分散時間の増加に比例して増加していった。しかし、30%の出力では分散時間の増加によってゼーベック係数が低下していった。G/D 比もゼーベック係数と同じように、10%の出力では時間に比例して増大したが、30%の出力では低下していった。このことから、ゼーベック係数と G/D 比には相関性があり、出力が高い状態で長時間分散することで CNT の結晶性が低下し、ゼーベック係数も低下することが分かった。

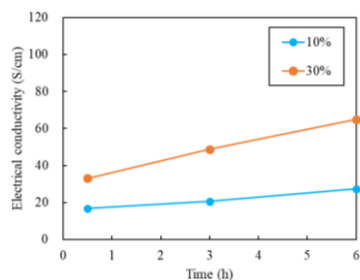


図1 各分散出力の電気伝導率と時間の相関性

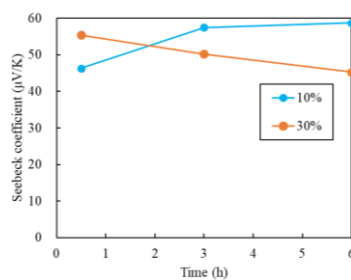


図2 各分散出力のゼーベック係数と時間の相関性

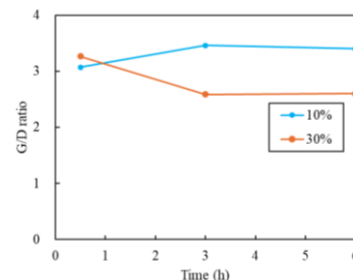


図3 各分散出力の G/D 比と時間の相関性

4. 結言

SWCNT 分散溶液の分散を 10%の出力で長時間分散することにより、電気伝導率・ゼーベック係数・G/D 比が向上することが分かった。一方、30%の出力で長時間分散することにより各値が低下した。本発表では SEM による表面観察結果や引張試験による強度測定を基に CNT の繊維長の相対評価を行い、各値との相関性を調べる。

5. 謝辞

本研究に使用した SWCNT (SG-CNT ZEONANO SG101) を供与して頂いた日本ゼオン株式会社、分析装置を供与して頂いた東海技術共同管理室に感謝申し上げます。

6. 参考文献

[1] T. Chiba *et al.* Sci. Rep. **11** (2021) 14707.

ガス/電気化学複合システムによるパラジウムおよびパラジウム基合金円筒の水素透過特性評価

*小倉 博人(東海大院工)、原田 亮(東海大工)、**内田 ヘルムート貴大(東海大院工)

1. 背景, 目的

世界の鉱物資源や化石エネルギーは有限であり、石油や天然ガスの可採年数は 80 年と限られている。また、日本は化石燃料や鉱物資源を自国で賄うことが難しく、2020 年度の一次エネルギー自給率は 11.2 %となっている[1]。以上のことから、脱炭素化のためにエネルギー源を多様化することは非常に重要である。

水素エネルギーは有望な代替手段であり、すでに自動車の動力源となっている。しかし、高純度の水素を製造することが不可欠であり、水素透過膜は実用的な精製方法を提供する。

これまでの研究では、円筒状のパラジウム(Pd)および Pd 合金金属における水素拡散が研究されてきた (e.g. [2-5])。最近の進歩は、優れた水素透過性と他の金属に対する高い選択性により、これらの膜に Pd とその合金を使用することを強調している。特に、Pd を Ag と合金化すると、水素透過性と機械的耐久性が著しく向上する[6]。

本研究では、円筒試料の内側を圧力制御ガスで満たし、外側を電気化学セル溶液に接触させた円筒形の Pd セルシステムを構築した。本研究では、円筒形 Pd セルシステムを構築し、その信頼性評価と温度条件による水素透過特性の解析を行う。さらに、Pd および Pd-Ag 合金の水素透過性能を比較し、水素分離・精製技術への応用可能性を探ることを目的とした。

2. 方法

本実験では、電気化学的測定法とガス透過法を組み合わせた複合システムを用いて水素透過測定を実施した。長さ 100 mm、直径 3.0 mm、厚さ 0.2 mm の Pd 円筒(純度 99.95 at.%)の内部を制御した圧力の水素ガスで満たし、外部を電気化学セルの電解液に接触させた。この方法により、Pd 円筒試料中の水素拡散係数 D を定量化し、その温度依存性を評価した。同時に、本実験で構築した測定システムの性能評価も行った。円筒全体に接触する溶液温度を制御することで、様々な温度条件下での水素の透過挙動を評価した。

3. 実験結果

Fig. 1 は横軸に時間 t [s]、縦軸に室温で測定した EMF ポテンシャル U [V]をプロットしたものである。室温において水素ガスを導入した場合、タイムラグは 65 s と計測され、これを適用した結果、Pd 中の水素拡散係数は $D=1.0 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ と計算された。

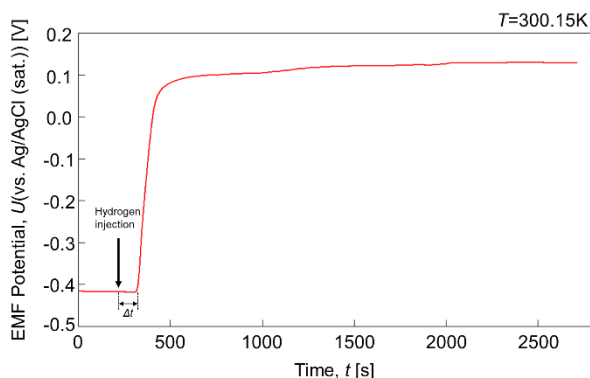


Fig. 1 Time evolution of the measured EMF values at the output side (electrolyte side) of the hydrogen permeation experiment in the outward direction using a Pd tube sample with hydrogen gas inside (H_2 gas was introduced into the tube at time indicated by the arrow).

4. 考察

本研究で得られたアレニウスプロットは高い整合性が認められた。特に、先行研究の β 相でのアレニウスプロット[2]とは高い整合性が得られ、本研究で得られた水素拡散係数は β 相によるものだと考えられる。この一致は、本研究で開発した測定システムの妥当性を示唆している。本測定により算出された Pd 筒の水素拡散の活性化エネルギーは 26.1 kJ/mol であり、この値は先行研究で報告された範囲内に収まっている。これらの結果は、本実験手法の信頼性と再現性を裏付けるものである。

5. 結論

室温から 369.15 K までの Pd 筒を用いた水素ガスと電気化学の複合実験では、先行研究と高い整合性のある結果が得られた。また、Pd 筒中での水素拡散の活性化エネルギーは 26.1 kJ/mol を得た。本実験で得られたアレニウスプロットと活性化エネルギーから、本実験の結果は本実験において採用した実験手法の信頼性と再現性を裏付けるものであると判断される。このほか、水素分離・精製技術への応用可能性についても議論を行う。

参考文献

1. 経済産業省資源エネルギー庁, 『令和 3 年度エネルギーに関する年次報告書(エネルギー白書 2022)』
2. M. Auinger et al., Int. J. Hydrogen Energy, 48, (2023), 34454-34462.
3. J. Crank, "THE MATHEMATICS OF DIFFUSION SECOND EDITION", (1975), CLARENDON PRESS.
4. R.C. Frank and J.E. Thomas, Jr., J. Phys. Chem. Solids, 16, (1960), 144-151.
5. A. Van Wieringen and N. Warmoltz, Physica, 22, (1956), 849-865.
6. N. A. Al-Mufachi, Renew. Sustain. Energy Rev., 47, (2015), 540-551.
7. E. Wicke and G. Boehmholdt, "Zur Diffusion von Wasserstoff in Pd- und Pd/Ag-Hydriden hohen Wasserstoff-Gehaltes", Z. Phys. Chem. NF., 42, (1964), 115.

その場アコースティック・エミッション測定による水素導入 FCC/BCC ステンレス鋼の変形挙動変化

*佐藤 優諒(東海大院工)、**内田 ヘルムート貴大(東海大院工)

1. 背景および目的

水素社会の進展に伴い、水素環境下における汎用材料の機械的特性の理解が急務となっている。特に、水素環境下での金属構造部品の脆性破壊現象は重要な課題である(e.g. [1])。水素脆化のメカニズムとして提唱されている HELP (Hydrogen Enhanced Local Plasticity) [2,3]の解明には、さらなる実験の評価が必要とされている[4-6]。

本研究では、Fe 系材料である体心立方(BCC)構造のフェライト系ステンレス鋼(SUS430)および面心立方(FCC)構造のオーステナイト系ステンレス鋼(SUS304)を対象に、変形過程における局所欠陥の形成およびき裂進展に対する水素導入の影響を調査した。

2. 実験方法

SUS304 および SUS430 の板材（各板厚 0.1 mm、ニラコ社製）を Fig. 1 の寸法に加工し、試験片とした。水素導入には電気化学的手法を採用し、Fig. 2 に示すセットアップを用いた。ガルバノスタット直流電源（北斗電工・HA 151B）により、電流密度 2 mA/cm² 一定条件で水素導入処理を行った。水素充填前後の試験片について、引張試験とアコースティック・エミッション（AE）によるその場測定を実施した。

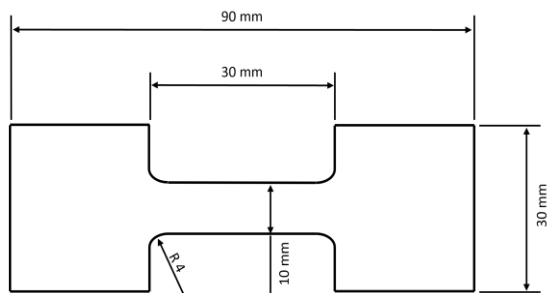


Fig. 1 Summary of specimen dimensions applied in this work.

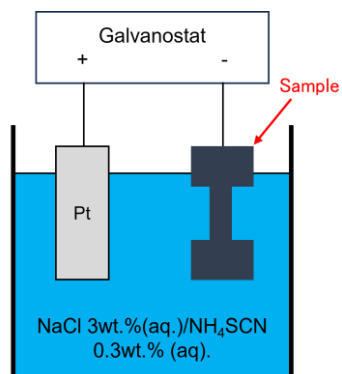


Fig. 2 Overview of electrochemical hydrogen loading setup.

3. 実験結果

SUS304 と SUS430 の両材料において水素脆化が確認された。水素導入後での比較では、SUS304 は塑性変形域で、SUS430 では弾性変形域で破断した。AE その場測定により、水素導入前後での各試料の変形過程における AE 信号の取得に成功した。SUS304 は SUS430 と比較して AE カウント数が多く、両試料とも水素導入により AE カウント数が減少することが確認された。

4. 考察

先行研究では AE と転位活性の関連性が指摘されている[7]。本実験では水素導入後に AE カウントが減少したことから、水素が転位の移動度を制限している可能性が示唆された。ただし、この結論の確証には、特に塑性変形速度を変化させた追加調査が必要である。応力-ひずみ曲線の分析から、SUS304 は SUS430 と比較して塑性変形が大きく、転位の移動度が高いことが考えられ、これが AE カウント数の差異に反映されたと推察される。

5. 結論

FCC および BCC 結晶構造を持つステンレス鋼への水素導入により、ともに延性低下と脆性破壊が確認された。また水素導入前後の金属変形中のその場 AE 測定により、転位の発生・移動とボイド形成に起因する信号の検出に成功した。その結果、両方結晶構造において、水素導入が AE 信号を抑制されることが示された。水素環境下における材料挙動の理解は、水素社会における安全性向上に寄与すると期待される。

参考文献

- [1] F. Ye *et al.*, *J. Alloy. Comp.*, **876**, (2021), 160134.
- [2] M. Nagumo, *High Pressure Institute of Japan.*, **46**, (2008), 190-199.
- [3] M.L. Martin *et al.*, *Acta Mater.*, **156**, (2019), 734-750.
- [4] L. Huang *et al.*, *Nature Mater.*, **22**, (2023), 710-716.
- [5] E. Hörlund *et al.*, *Int. J. Electrochem. Sci.*, **2**, (2007), 82-92.
- [6] May L. Martin *et al.*, *Acta Mater.*, **165**, (2019), 734-750.
- [7] 尾上守夫, 『アコースティック・エミッションと溶接』, 溶接学会誌, **44**, (1975), 314-316.

固相拡散を用いたタングステンからの水素回収法の検討

*坂本 康輔(東海大学大学院工学研究科)、岡田 尚之(東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻)、**内田 ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科)

1. 背景および目的

地球温暖化対策としてのパリ協定を受け、日本は2050年までに温室効果ガス排出ゼロを目指している[1]。この中で、CO₂を排出せず安全性の高いエネルギーとして核融合炉が注目されている。核融合炉では重水素 D と三重水素 T の核融合反応(D-T 反応)等を利用して発電し、高度な制御が必要だが異常時は自動停止する[2]ため有望なエネルギー源である。融点が高く熱負荷に強いタングステン(W)は核融合炉のダイバータ材料として使用される[3]が、プラズマによるナノバブルやブリストアといった金属内に侵入した水素がもたらす損傷が懸念されている[4]。そこで、金属内に侵入した水素を回収することでダイバータの寿命を延ばすことが出来る可能性がある。

本研究では水素の固溶度が大きい Nb に着目し、固相内の水素の拡散現象を利用したタングステンからの水素回収技術の確立を目的として実験を行った。

2. 実験方法

W(アライドマテリアル社製 99.95 at.%W 板、厚み 1 mm)を 10×10 mm に切り出し電解研磨後、水素回収材として Nb をイオンプレーティングし、Nb の保護膜として Cu を真空蒸着した物を試料とし、これに重水素(D+)プラズマ照射を行った。

プラズマ照射には TPD Sheet-IV[5]を用い、フルエンス(照射量)は ITER と同じ $5.3 \times 10^{26}/\text{m}^2$ とし、W 側の面に対してプラズマが当たるような向きで設置して逆面を水冷した。試料側面に熱電対を設置し、照射中の試料温度測定も行った。

照射後試料に対して、プラズマが直接当たった W 側と薄膜がある側の二カ所に対して、相の同定に X 線回折法(XRD)を用いた。

3. 実験結果

プラズマ照射面・非照射面に対して XRD 計測を行った。プラズマ照射前後の XRD 計測の結果を Fig.1 および Fig.2 に示す。照射前と比較して、照射面・非照射面ともに W の回折ピークは低角側にシフトし、薄膜では高角側へシフトしている傾向がみられた。これは、W の結晶格子膨張と薄膜の結晶格子収縮を示唆する。なお、試料温度は照射中 550℃程度であった。

4. 考察

W の格子膨張には、熱的要因と水素固溶の二つが考えられる。照射中の試料温度は 550℃(水冷込み)であり、プラズマ接触面では熱回復が生じた可能性がある。しかし、非照射面でも格子膨張が観察されたため、熱以外の影響も示唆される。水素の金属固溶による体積膨張は既知であり、高エネルギープラズマによる過飽和水素がフレンケル欠陥を引き起こした可能性がある。これらの要因で W が膨張し、Nb および Cu 薄膜に引張応力を与え、面間隔を縮小させたと推察される。

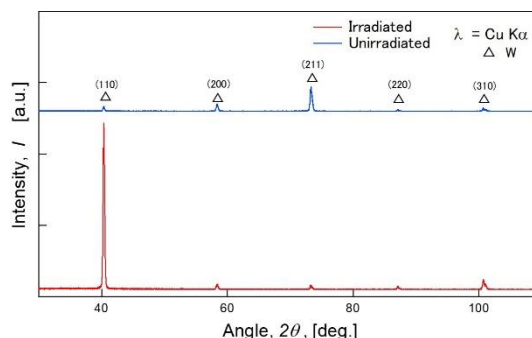


Fig.1 プラズマ照射面の XRD パターン
(赤：照射後、青：照射前)

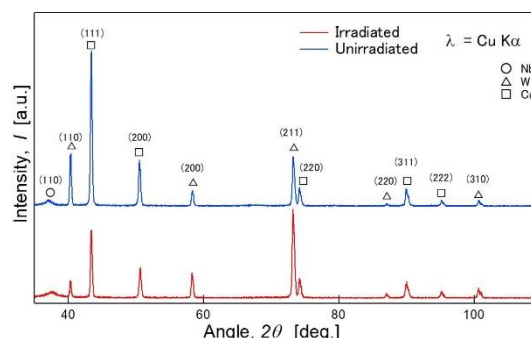


Fig.2 プラズマ非照射面の XRD パターン
(赤：照射後、青：照射前)

5. 結論

W に対してプラズマを照射した結果、W の体積膨張が観察された。この現象は接合材料に応力を誘発する可能性があり、表面のみならず内部構造にも影響を及ぼすことが示唆された。特に、ナノバブルやブリストア形成のリスクが懸念される。また、水素の Nb への拡散は直接的には確認できなかったものの、XRD 分析により試料裏面での W 格子の膨張が観測された。これは水素が少なくとも 1 mm 以上の深さまで拡散していることを示唆しており、Nb への水素拡散の可能性も考えられる。

これらの知見に基づき、ダイバータ設計において効果的な水素回収機構の実装が不可欠であると結論付けられる。さらに、薄膜材料を使用する場合、体積変化に起因する応力が材料破壊を引き起こす可能性があることから、回収材とダイバータ材料の間にバッファ層を設けるなどの対策が必要と考えられる。

参考文献

- [1] 経済産業省、『2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略』,(2021).
- [2] Y. Ueda et al., *J. At. Energ. Soc. Jpn.*, **46**, (2004), 845-852.
- [3] T. Hirai et al., *Nucl. Mater. Energy*, **9**, (2016), 616-622.
- [4] V. Kh. Alimov et al., *Phys. Scr.*, **2009**, (2009), p014048.
- [5] A. Tonegawa et al., *J. Nucl. Mater.*, **313-316**, (2003), 1046-1051.

水素導入処理がチタンワイヤーの機械的特性に与える影響

*関 龍翔(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、山崎 智美(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、原田 亮(東海大学工学部機械工学科)、**内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)

1. 背景, 目的

チタンは医療や宇宙開発など様々な分野で広く利用されている[1]。ヤング率が 104 GPa [2]である α チタンと比較して、室温のヤング率が低くより人骨のそれ(30 GPa)に近い β チタン合金は、人工骨としての利用で注目されている[3]。六方晶構造をとる α チタンよりも、体心立方系の結晶構造をとる β チタンの方が水素を多く固溶することが San-Martin らにより報告されている[4]。また、水素の固溶に伴い弾性係数が変化する可能性については中国の研究チーム Lu Sun らによる第一原理計算の結果により指摘されており[5]、実験的には共振法を利用した手法により弾性係数の変化が報告されている[6]。しかしながら、一般に動的手法と静的手法の違いにより得られるヤング率は異なり[7]、さらなる実験的手法による調査が必要とされている。また、水素が弾性に与える影響およびメカニズムについての知見は、その温度依存性に関する理解に比べて[8]、不十分であり、更なる実験的調査が求められている。

以上より、本研究では、片持ちはりの原理を利用し、たわみ量が観察しやすいチタンワイヤー試料に対し電気化学的に水素を導入し、ヤング率の変化を静的に評価し比較することを最終的な目的とした。その上で中間報告として、試料の測定方法の確立を目的として行った成果について報告することとする。

2. 方法

チタンワイヤーの端を万力で固定し、その自重で生じたたわみを、カメラを用いて撮影し、たわみを計測し、ヤング率を算出した。画像解析には ImageJ を使い、撮影で得られた画像からチタンワイヤーの先端座標を取得し、たわみを計測した。得られたヤング率に対し、メディアンランク法を用いた評価を行った。

3. 実験結果

水素導入処理前の試料 A では 102.0 GPa を得たヤング率が、水素導入処理後の試料 A'では 98.4 GPa へと 3.53%低下した。水素導入処理前の試料 B では 108.9 GPa であったヤング率が、水素導入処理後の試料 B'では 95.3 GPa へと 12.48%低下した。水素導入処理前の試料 C では 99.2 GPa であったヤング率が、水素導入処理後の試料 C'では 83.9 GPa へと 15.45%低下した。水素導入処理前の試料 D では 110.5 GPa であったヤング率が、水素導入処理後の試料 D'では 78.2 GPa へと 29.22%低下した。水素導入処理を行なった試料のヤング率は、処理前の試料のヤング率よりも有意に低いことが確認された。

4. 考察

本研究で扱った全ての Ti ワイヤーにおいて、水素導入処理後にヤング率の低下が確認された。しかしながら、その相対的な減少率は試料間でばらつきを示し、3%から約 30%の広範囲に分布した。この減少率のばらつきの要因として、以下の可能性が考えられる：(1) 各試料における集合組織による結晶方位に起因するヤング率の異方性[9]、(2) ワイヤー表面に形成される酸化膜厚さの不均一性[10]、(3) 伸線加工プロセス中に発生するマイクロクラックの形状および分布の不均一性。これらの要因が複合的に作用し、水素導入による機械的特性の変化に影響を与えていると推察される。今後は、これらの要因の寄与度を定量的に評価するため、より詳細な組織解析および表面分析が求められる。

5. 結論

得られた結果から、多少のばらつきはあるものの、見かけの水素濃度 $c_H = 10^{-1}$ H/Ti 程度までの水素導入は、明らかに Ti ワイヤのヤング率を低下させる傾向が確認された。以上から、動的方法だけでなく静的方法でも、水素の導入によりヤング率が低下することが確認された。

参考文献

- 一般社団法人日本チタン協会 Web サイト <http://www.titan-japan.com/technology/usage.html> (2023 年 10 月 20 日参照)
- 成島 尚之, 軽金属, **55**, (2005), 561-565.
- Mitsuo et al., Mater. Trans., **43**, (2002), 2970.
- A.San-Martin et al., Bullet. Alloy Phase Diagrams, **8**, (1987), 30.
- Lu Sun et al., Int. J. Hydrogen Energy, **43**, (2018), 6756.
- H.T. Uchida et al., GMM Fachbericht, **101**, (2021), 209-212.
- W.A. Thomaz et al., Case Studies in Construction Materials, **15**, (2021), 200645.
- Y.P. Varshni, Phys. Rev. B, **2**, (1970), 3952-3958.
- M. Tane et al., Acta Mater., **61**, (2013), 7543-7554.
- O. N. Senkov et al., Metallur. Mater. Trans., **A27**, (1996), 3963-3970.

ろう付用フラックスの挙動に関する基礎的検討

*中隋翔太(東海大学大学院工学研究科応用理化学専攻)、**宮沢靖幸(東海大学工学部機械工学科)

1. 背景, 目的

ろう付およびはんだ付とは、母材の融点より低い温度で溶ける溶加材(ろう、はんだ)を接合部に熔融添加して母材にぬれさせ、接合する方法である。ろう付とはんだ付は用いる溶加材の融点によって区別され、450℃以下をはんだ付およびはんだという。ろう付の最大の特徴は、母材をあえて溶かす必要がないということである。このため母材に与える熱的な影響が比較的少なく、薄肉や小物の接合がやりやすい、寸法精度がよくひずみが少ない。母材を劣化させにくいという特徴がある¹⁾。

しかし、母材に使用される金属表面は酸化被膜に覆われており、その酸化被膜によってろうのぬれが妨げられるため、うまく接合できない。そのため、酸化被膜を除去するためにフラックスを使用するが多い。

しかし、ろう付時のフラックスの挙動を観察・考察した研究は少ないため、今回の研究は予備実験として、はんだ付時のフラックスの挙動を調査した。

2. 方法

フラックスの挙動を直接目視で観察する方法は、ほとんど無いので、最初に予備実験としてはんだ付用フラックスの挙動を解析した。使用した母材は、タフピッチ銅板であり、縦及び横の長さが20mm、厚さは3mmの板を使用した。フラックスは、アジピン酸を使用した。

最初に液体フラックス中の液相成分を蒸発させ、固体を得た。表1にフラックスの成分をまとめた。その後、固体フラックスを母材銅板上に設置し、試験片とした。次に、ホットプレートをはんだ付時の温度に上昇させ、ホットプレート上に試験片を設置した。はんだ付時のフラックスの挙動観察するためにカメラを使用して、試験片直上から動画を撮影した。

ホットプレート上面温度(はんだ付温度)を160℃と240℃に設定した。

表1 フラックスの成分

化学名	濃度又は濃度範囲 (mass%)	官報公示整理番号	CAS No.
		化審法/安衛法	
イソプロピルアルコール / プロピルアルコール / 2-プロパノール / IPA	92~94	(2)-207/ 2-(8)-319	67-63-0
フェノール系樹脂	4.5~5.5	—	非開示
アジピン酸	1.5~2.5	(2)-858/—	120-04-9
その他	0.1以下	—	非開示

3. 実験結果

図1と図2にフラックスがぬれ広がった試験片の表面状態を示した。また、表2に温度変化をまとめた。



図1 はんだ付温度240℃の試験片のフラックス溶融開始時の状態



図2 はんだ付温度240℃の試験片のフラックスのぬれ広がりが完了したときの状態

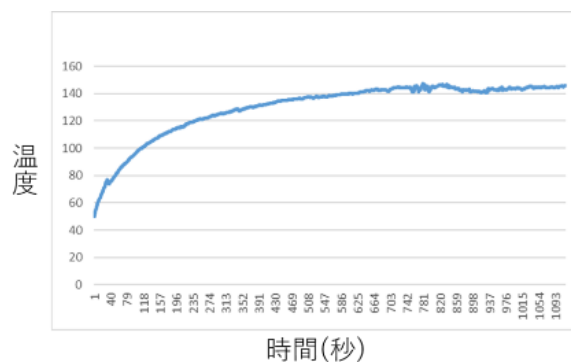


図3 はんだ付温度240℃の試験片の試験片表面温度の変化

4. 考察

温度が140℃程度でフラックスが融解し、ぬれ広がりが始まった。最もぬれ広がった温度は165℃程度であった

5. 結論

フラックスが融解し、ぬれ広がりが始まるには、温度が140℃程度は必要である。また、165℃程度で最もぬれ広がる。

参考文献

- 1) 恩澤忠男 初めてのろう付 2013年10月20日 産報出版

Ni/Ti コンポジットによる常温水素回収機構の有効性評価

*長谷川吉之輔(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. 背景及び目的

水素エネルギー利用拡大に伴い、水素環境下デバイスの需要増加が予想される。材料への水素固溶は機械的性質（ヤング率）変化や疲労破壊¹を引き起こす可能性があり、水素除去が重要となる。ヤング率は温度依存性を示し^{2,3,4}、本研究グループは純 Ni への水素固溶がヤング率低下（6-8%）を引き起こすことを実験的に確認した⁵。

水素除去法として加熱による放出⁶があるが、材料物性や表面酸化への影響が懸念される。本研究では、水素固溶エンタルピー変化の異なる金属材料（Ti）とのコンポジット化による、温度変化なしでの水素除去法を提案する。固相水素拡散に基づく水素回収メカニズムの有効性を検討し、水素環境下での材料安定性向上を目指す。

2. 実験方法

本研究では、純 Ti と純 Ni の物理的接触点を持つコンポジット材料を作製し、電気化学的水素導入処理⁷後、三種類の実験を実施した。まず、昇温脱離ガス分析(TDS)では、四重極型ガス質量分析計(QMS)を用いて試料内水素の存在状態と放出温度を評価した。次に、X 線回折(XRD)分析を行い、薄膜材料解析 X 線回折装置で水素導入前後の Ti(0002)方向圧縮応力変化を測定した。最後に、共振法によるヤング率測定を実施し、水素導入後のヤング率変化を評価した。

3. 実験結果及び考察

本予稿では、代表的な結果のみを記す。Fig. 1 及び Fig. 2 に昇温脱離ガス分析(TDS 測定)で得られた結果を示す。

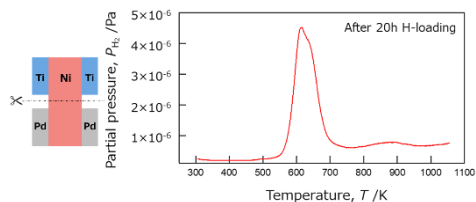


Fig.1 純 Ti と純 Ni のコンポジット材料に対して行った TDS 測定の結果

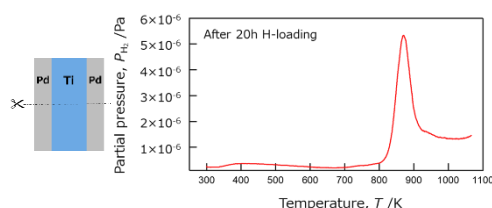


Fig.2 純 Ti と純 Pd のコンポジット材料に対して行った TDS 測定の結果

Fig. 1 には 626 K と 882 K に 2 つの水素放出ピークが確認された。882 K のピークがどの材料からの水素放出ピークなのかを評価する為に Fig. 2 にあるような純 Ti と純 Pd のコンポジット材料で実験を行ったところ、872 K から水素放出ピークが確認された。

Fig. 1 及び Fig. 2 の実験結果から、Fig. 1 の 882 K の水素放出ピークは Ti から放出された水素によるものであると考えられる。また、直接水素導入を行っていない Ti 内から水素が確認されたことから、Ni 内に導入された水素が固相を拡散し Ti へ回収されたと考えることができる。さらに、この固相拡散が同一温度条件で起きることを XRD 測定による圧縮応力の変化から確認した。

4. 結論

TDS 測定並びに XRD 測定の結果から、同一温度条件で Ti を用いた Ni からの水素の回収が確認され、本報告で提案する水素回収機構は可能であると判断される。

参考文献

- ¹ 村上 敬宜, 長田 淳治, 『高強度鋼の長寿命疲労破壊に及ぼす水素の影響』, 材料, **54**, (2005), pp. 420-427
- ² Y. Pivak et al., "Thermodynamics, stress release and hysteresis behavior in highly adhesive Pd-H films", *Int. J. Hydrogen Energy*, **36**, (2011), 4056-4067.
- ³ Y.P. Varshni, "Temperature Dependence of the Elastic Constants", *Phys. Rev. B*, **2**, (1970), 3952-3958.
- ⁴ Olivier Hubert et al., "Modeling of Young's modulus variations with temperature of Ni and oxidized Ni using a magneto-mechanical approach", *Materials Science and Engineering: A, Elsevier*, **633**, (2015), 76-91.
- ⁵ M. Matsumoto et al., "Effect of hydrogen solution on the Young's modulus of Nickel", *GMM-Fachberichte*, **98**, (2021), 250-252.
- ⁶ 石崎 哲郎, 武田 隆夫, 『鉄鋼の真空中連続加熱による水素放出と水素の存在状態について』, 日本金属学会誌, **45**, (1981), pp. 268-275.
- ⁷ H. T. Uchida, "Hydrogen Absorption Property of Nanocrystalline-Magnesium Films", PhD thesis, Universität Göttingen, (2015).

電子線照射処理前後における CFRTP (CF/PPS) の衝撃値評価

*入江 紘嵩(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、伊比井 亜弥音(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)、西 義武(東海大学、KISTEC)、佐川 耕平(東海大学大学院工学研究科)

1. 背景, 目的

炭素繊維強化プラスチック(CFRP; Carbon Fiber Reinforced Plastics)は炭素繊維と熱硬化性樹脂を複合化したもので高強度かつ軽量の利点を持つ。引張比強度・比弾性率は鉄・アルミの約3~9倍であり、近年では航空機や自動車の材料として使用されている[1]。しかし熱硬化性樹脂を母材とした CFRP は成形に時間がかかり、リサイクル性に課題を抱えている。そこで母材を熱可塑性樹脂とした CFRTP(Carbon Fiber Reinforced Thermo Plastics)が、従来の CFRP と比較して成形時間が早く量産性に優れ、リサイクル性が良好といった点が注目されている。一方で CFRP と比較し、強度や弾性率、接着性に劣るという課題も抱えている[1]

2. 方法

本研究では CFRTP の母材を熱可塑性樹脂であるポリフェニレンサルファイド(PPS)に選定し、複合化前の炭素繊維に照射を行い、照射条件に応じた衝撃値をもとに検討した。CFRTP は平織の炭素繊維(三菱レイヨン: TR3110M)3枚とシート状に熱圧着し成型した PPS 粉末を4枚用い、それぞれ交互に重ね合わせてホットプレスで加圧熱法(300℃、2MPa、8min)により作製した[3-5]。この試料を80mm×10mmに切り出し、シャルピー衝撃試験を行い、それぞれの照射量ごとの衝撃値を測定・比較した。

3. 実験結果

Fig.1 より未照射時の試料と比較し、電子線照射処理を施した試料はいずれも衝撃値が向上した。破壊確率0.50における衝撃値の向上は200kV照射時に1.33倍、250kV照射時1.38倍となった。この結果から、電子線照射処理が CFRTP(CF/PPS)の衝撃強度を有意に向上させることが確認された。

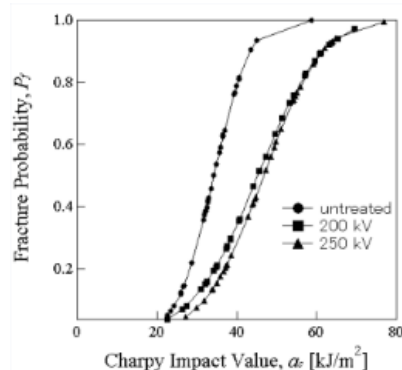


Fig. 1 電子線照射前後の衝撃値と破壊確率の関係

4. 考察

シャルピー衝撃試験の結果、電子線照射によって試料の衝撃値が向上したことが確認された。これは電子線照射により、炭素繊維表面の一部の化学結合が切断され、生成された未結合部位(ダングリングボンド)が新たな活性点となり、PPS樹脂との結合形成が促進される。その結果、炭素繊維とPPS樹脂の界面接着性が向上し、界面接着性の向上により、複合材料全体の衝撃強度が増加したと考えられる。このメカニズムは、XPS分析で観察された表面化学状態の変化と整合性がある。電子線照射による表面活性化が、CFRTP(CF/PPS)の界面特性を改善し、結果として衝撃強度の向上につながったものと考えられる。

5. 結論

本研究では、炭素繊維に電子線照射処理を施した CFRTP(CF/PPS)の衝撃特性を評価した。シャルピー衝撃試験の結果、電子線照射処理により衝撃値が有意に向上することが明らかとなった。未照射試料の34 kJ/m²に対し、200kV照射で46 kJ/m²、250kV照射で47 kJ/m²まで向上した。この向上は、電子線照射による炭素繊維表面の活性化とPPS樹脂との界面接着性改善によるものと考えられる。今後は、最適照射条件の特定や他の機械的特性への影響検証が課題である。

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), pp.38-223
- [2]奥村 康之:『電子線照射装置の工業利用への展開』, J. Vac. Soc. Jpn, 60, (2016), 1-4.
- [3]Y. Nishi, H. Takei, K. Iwata, M. Salvia, A. Vautrin, Mater. Trans., 50, (2009), 2826-2832.
- [4]H. Takei, K. Iwata, M. Salvia, A. Vautrin, Y. Nishi, Mater. Trans., 51, (2010), 2259-2265.
- [5]H. Takei, M. Salvia, A. Vautrin, A. Tonegawa, Y. Nishi, Mater. Trans., 52, (2011), 734-739
- [6]日本工業規格,『炭素繊維プラスチックのシャルピー衝撃試験方法』 K7077-1991
- [7]伊比井亜弥音, “航空機向け水素エンジン燃料タンク被覆 PPS 樹脂の電子線照射による強靱化,および混在する水素ガス圧のモニタリングシステムに関する基礎研究”. 東海大学大学院工学研究科機械工学専攻修士論文, (2024).

Ba(Gd,Yb,Er)₂ZnO₅ アップコンバージョン蛍光体の液相並列合成による最適組成の探索

*眞壁恒成(東海大学理学部化学科)、保科俊輔(東海大学理学部化学科)寺島那哉(東海大学大学院理学研究科化学専攻)、
**富田恒之(東海大学理学部化学科教授)

1. 背景・目的

アップコンバージョン(UC)発光とは、長波長の光が多光子・多段階で励起し、短波長側に変換され発光する現象である。UCの技術は、3Dボリュームディスプレイ、偽造防止、生体イメージングなどの応用が期待されている。UC蛍光体は、光増感剤と発光剤の2種の希土類イオンをドープすることで、光増感剤のYbが励起光である980nmの近赤外光を吸収し、そのエネルギーが発光剤をEr、Ho、Tmに渡すことでUC発光が生じる^[1,2]。

従来の研究にて、UC蛍光体にYb、ErまたはHoを共ドープしたBaGd₂ZnO₅が、強い発光を示すことが報告されている^[3]。しかし、より強い発光を示す詳しいドープ量の調査は、あまり行われていない。本研究では、錯体重合法でErとYbをドープしたBaGd₂ZnO₅を並列合成し、ドープ量の最適化と発光特性の評価を行った。

2. 実験・評価方法

今回作製した試料は化学量論比になるように各種金属錯体溶液を混合し、ErとYbはGdに対してEr、Yb共に1~15mol%の範囲で添加した。また、クエン酸、プロピレングリコールを加え、撹拌した。これらを120℃で12h加熱濃縮、450℃で20h仮焼き後、生成物を乳鉢と乳棒を用いて粉碎し、ろつばに移し1200℃で5h大気中で焼成した。合成した試料は、XRD測定(Bruker,D8-ADVANCE)による組成の評価、半導体レーザー(980nm)と瞬間マルチ測光システム(大塚電子MCPD-7700:311C)による赤外励起-可視発光スペクトル測定を行い、評価した。

3. 結果

Fig.1にBaGd₂ZnO₅:Er2%,Yb14%の発光スペクトルを示す。520~570nmの緑色の領域、640~700nmの赤色領域に大きなピークが見られ、目視では橙赤色の発光が見られた。Fig.2に全試料の520~570nmの緑色の領域、640~700nmの赤色領域の発光強度の積分値をカラーマッピングしたものを出す。最も強い発光を示したのは、Er2%,Yb14%の試料であった。ドープ量を変化させた際、Erのドープ量の増加に伴い、発光強度が大きく低下した。よって、Erの濃度が高いと濃度消光が起こりやすくなると考えられる。また、Erに対してYbが多く必要であった。これは、Ybが980nmの光を吸収する役割を担っているからと考えられる。XRD測定より、全ての試料においてICSDデータと一致する部分が多く、目的化合物のBaGd₂ZnO₅が主相として合成できていたことが確認できた。副相としてGd₂O₃が生成されていたが、XRDとしてはピークが小さく、恐らく量は少ない。BaGd₂ZnO₅:Er,Ybドープの発光スペクトルの波形にGd₂O₃:Er,Ybドープ相が見られなかったことより、発光に副相は関係していないと考えられる。UC発光強度 I_{UC} は、近赤外励起光強度 I_{NIR} と $\ln(I_{UC}) \propto n \ln(I_{NIR})$ の関係があることが分かっている^[4]。ここで、 n は発光に必要な光子数である。レーザーの出力を変えてBaGd₂ZnO₅:Er2%,Yb14%の発光強度を検出し、励起光強度依存性グラフを作成すると、Fig.3の各直線の傾きよりそれぞれのピークの発光に必要な光子数は、緑(520~540nm)、緑(540~570nm)、赤(640~700nm)いずれも2光子であることが確認できた。より高い出力強度のレーザー光を使うことで、更なる発光強度の増加が可能であり、応用技術への期待ができる。

参考文献

- [1] 石井 海人夢, 富田 恒之 “アップコンバージョン蛍光体による赤外可視波長変換とその材料開発”, オレオサイエンス, **22**(5), 203-209 (2022)
- [2] 敷田 亜樹, 柳田 裕昭, 虎溪 久良, “アップコンバージョンによる可視光発生”, レーザー研究, **20**(4), 279-287 (1992)
- [3] 藤井孝太郎 “Crystal structure and electrical conductivity of BaR₂ZnO₅ (R=Sm, Gd, Dy, Ho, and Er)-a new structure family of oxide-ion conductors” Journal of the Ceramic Society of Japan, **126**(5), p.292-299 (2018)
- [4] M. Pollnau et al., Phys. Rev. B, 61, 3337, (2000)

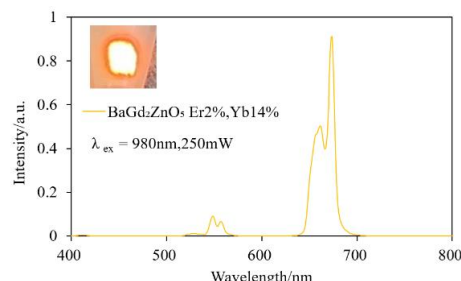


Fig.1 Emission spectrum of BaGd₂ZnO₅:Er 2%, Yb14%

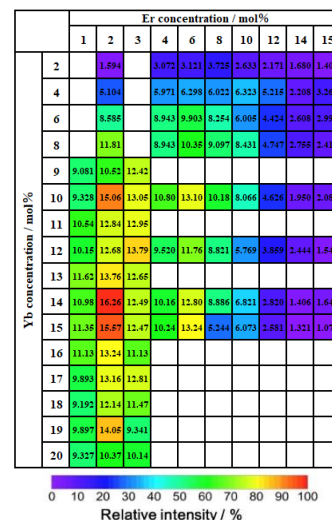


Fig.2 Integral red UC emission intensity under 980 nm excitation light (640-700 nm).

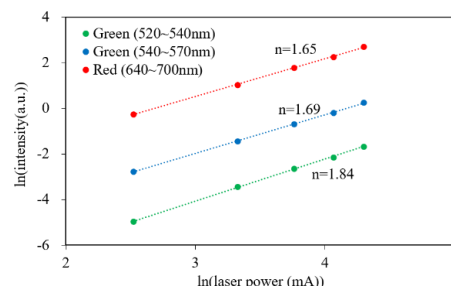


Fig.3 Dependence of each upconversion excitation light intensity of BaGd₂ZnO₅:Er 2%, Yb14%

液中プラズマ法を用いた燃料電池用プラチナ触媒への被毒に関する研究

発表者 趙志遠 指導教員 庄善之教授

[背景及び目的]

固体高分子型燃料電池は、水素と酸素の電気化学反応によって発電するデバイスである。固体高分子型燃料電池の触媒には化学的安定性を持つ炭素粒子に触媒活性の高い白金（以下 Pt）を担持した触媒が用いられている。Pt 触媒が有機物によって被毒されることで出力が減少するため、より耐久性があり、効率的な燃料電池技術の開発と長寿命化が求められている。

本研究の実験は有機物によるプラチナ触媒与える影響を比較する。燃料電池の寿命するかどうかを検討する。より性能の良い電池を作製することを目的としている。

[実験方法]

- 1) メタノール添加なしとメタノール濃度 10%、20%の混合液を作製した。
- 2) 混合液にプラチナ電極を 2 本挿入し、間を 1mm 離し、電極にパルス電源を接続した。
- 3) パルス電源に電圧を 2.8kV、周波数 30kHz に設定し、20 分間プラズマを発生した。
- 4) 作製した触媒を乳鉢に移し、130° C で 2 時間乾燥させた。
- 5) 粉末状の触媒に純水 0.126ml、ナフィオン液 0.126 ml を混合し、3cm×3cm カーボンペーパーに塗布した。
- 6) カーボンペーパーを 2 枚作製し、MEA を作製した。
- 7) 作製した燃料電池を評価し、発電性能を測定した。

[実験結果]

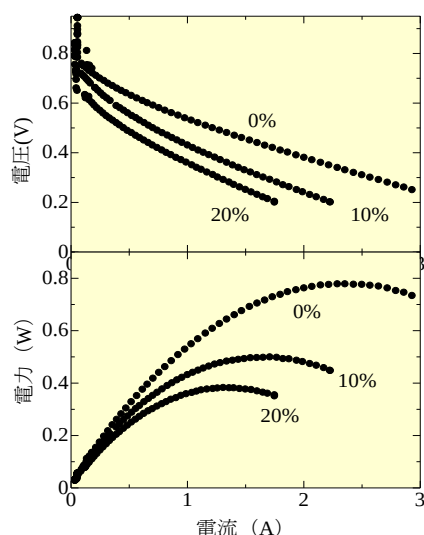


図 1：燃料電池の電流電圧電力特性による評価

Figure1 に液中プラズマ法を用いて、濃度変化させにより、作製した MEA の発電特性を示します。20 分間の開

放電圧は 0.92V である。20 分間放電する電力は 0.78W である。メタノール濃度 10%の開放電圧は 0.81V である。メタノール濃度 10%放電する電力は 0.45W である。メタノール濃度 20%の開放電圧は 0.78V である。メタノール濃度 20%放電する電力は 0.4W である。メタノール添加なしとメタノール濃度 10%、20%の実験データから見ると、メタノールメタノール添加なしから 20%に上がると、燃料電池の出力電力が下がると思う。

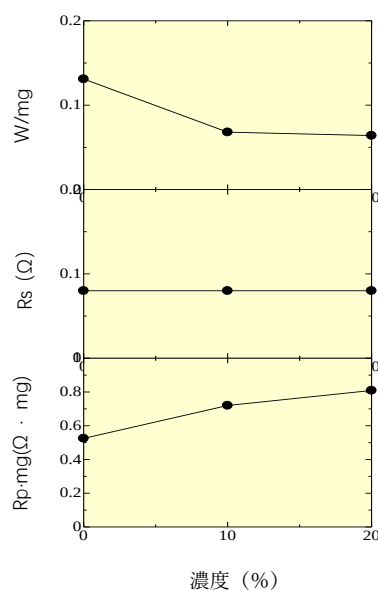


図 2: 燃料電池の単位質量電力直列抵抗単位並列特性による評価

[考察]

Figure2 にプラチナ触媒を作製時に、メタノールを分解し、プラチナ触媒表面が被毒させ、プラチナ触媒反応速度を下がった、燃料電池の並列抵抗を上がった。メタノール添加なしから 20%に上がると、燃料電池の電気化学反応速度が下がった。

[結論]

メタノールを添加した燃料電池の寿命が降下になると考えられる。

[参考文献]

1. 「燃料電池と FC-Cubic について」 <https://www.fc-cubic.or.jp/about-fuelcells/>
2. 「メタノール被毒実験」 https://www.xiaohongshu.com/explore/66435e7a000000001e034918?xsec_token=ABZ1g9jRTDzn9HG-bonhXQcs8edAV23XyT5xxWJf9_1b8=&xsec_source=pc_search

ハイブリッド界磁形同期機における界磁電流と電機子電流の関係に関する研究

* 秋元 涼、丸子 比呂(東海大学工学部電気電子工学科)
 ** 大口 英樹(東海大学工学部電気電子工学科)

1. はじめに

地球温暖化の原因となる二酸化炭素は、自動車、鉄道などの運輸部門からの排出量が多い傾向にある(Fig. 1)⁽¹⁾。そのため、近年車両の電動化が進められている。

永久磁石モータ (PM モータ) は小型・高効率の特徴から様々な機械に用いられており、電動車両用主機モータにも PM モータが多く採用されている。しかし、高速回転時では、モータに搭載する磁力が強いほど誘起電圧が高くなり効率が悪化する傾向にある。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⁽²⁾は、永久磁石と界磁巻線により界磁磁束を得ることができ、界磁電流を適切に制御することにより高効率に運転可能な範囲を拡張できる可能性がある。本研究の目的は、ハイブリッド界磁形同期機における界磁電流と電機子電流の関係の関係を明確にすることである。

2. モデル仕様および解析条件

Fig. 2 と Table 1 に提案するハイブリッド界磁形二層 IPM モータとモータ仕様をそれぞれ示す。提案モータのベースとなる電気学会専門委員会のベンチマークモデルである D モデルモータと同等のトルクが得られる界磁電流と電機子電流を求めて入力とし、損失比較を行った。

3. 解析結果

Fig. 3 に界磁電流と電機子電流の損失の内訳を示す。Fig. 3 より、例えば条件(1)に対し(4)の損失は約 30%高い。これは界磁電流を増加させても磁束が増えないため電機子電流が低減しないためと考えられる。

4. 今後の課題

今後の課題として機内の磁束を弱める方向に界磁電流を通電させ、高速回転域での特性明確化を行う事が挙げられる。

参考文献

- (1) 環境省 HP
https://www.env.go.jp/guide/info/ecojin_backnumber/issues/19-11/19-11d/second/index.html
- (2) 水野孝行、永山和俊、足利正、小林忠夫:「ハイブリッド励磁形ブラシレス同期機の動作原理と基本特性」, 電学論 D, 115 巻, 11 号, pp.1402~1411 (1995)

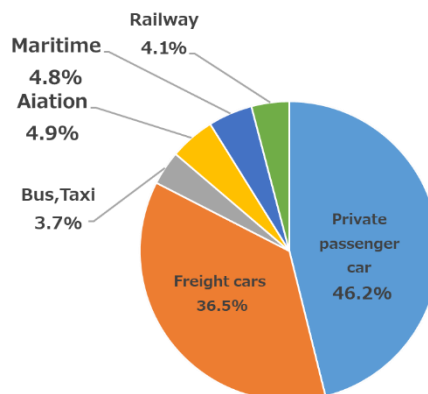


Fig. 1. Carbon Dioxide in the Transport Sector.

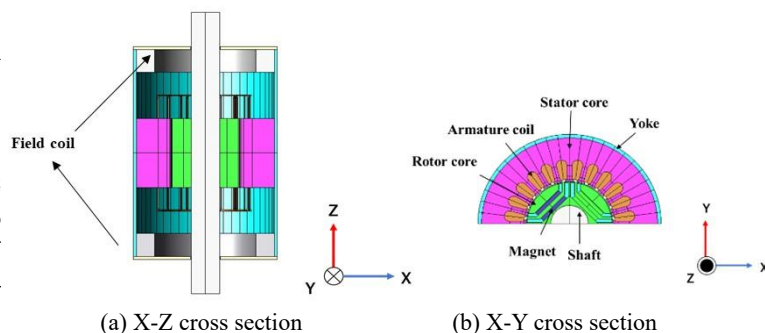


Fig. 2. Hybrid magnetic filed double-layer IPM motor.

Table 1. Machine specifications.

	D model motor	Proposed motor
Number of poles and slots		4, 24
Rated rotation speed		1500 min ⁻¹
Rated output power		280 W
Rated torque		1.82 N·m
Stator diameter		112 mm
Rotor diameter		55 mm
Stack length		60 mm
Armature coil resistance		0.89 (20°C)
Field coil resistance	—	47.9 (20°C)

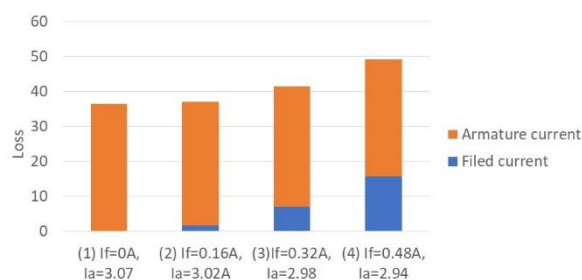


Fig. 3. Field current and armature current losses.

Si 単結晶太陽電池のダブルセルクラスタ方式によるホットスポット発熱の低減

*久保田 晶(神奈川工科大学)、加藤 玲(神奈川工科大学)、**板子一隆(神奈川工科大学)

1. はじめに

結晶欠陥のある太陽電池セルには、長時間影がかかった状態で運用すると、そのセルが異常発熱し火災の原因となるホットスポット現象が存在する。著者らは、この発熱を抑制するための新たなモジュールセル構成としてダブルセルクラスタ方式を提案し、実際の太陽電池セルを用いて実験を行い、提案方式の有用性を実証している。

2. ダブルセルクラスタ方式の提案

図1は比較するそれぞれの方式におけるセル構成の概略図(2クラスタストリングの場合の等価回路)である。同図(a)は全直列に接続したクラスタ(従来方式)であり、同図(b)はセル群を2並列としたダブルセルクラスタ(提案方式)である。

本提案方式は、従来の直列に接続されたセル群を2分割し並列に接続することで、正常セル群電圧を低下させ、発熱電力の低い領域でバイパスダイオードを導通させて発熱電力を低減しようとするものである。

3. 実験方法

実験は従来方式と提案方式のそれぞれにおいて、クラスタ数 $N=2, 3, 5$ で構成したストリングで行った。

電子負荷装置をストリングの出力側に接続して定電圧(CV)モードにて最大電力点の電圧に設定し、欠陥セル一つに影(90%)を付加し、1分後に影を取り外した直後の温度をサーモカメラで撮影し温度を測定する。

実験の条件は気温 $29[^\circ\text{C}]$ 、パネル温度 $40[^\circ\text{C}]$ 、日射強度は約 $900[\text{W}/\text{m}^2]$ であり、1クラスタ内のセル数 m を $m=34$ として両方式で定格電力 P_r を統一している。

使用したセルの公称値は日射強度: $1000[\text{W}/\text{m}^2]$ 、セル温度: $25[^\circ\text{C}]$ 、AM: 1.5 において、開放電圧 V_{oc} : $0.62[\text{V}]$ 、短絡電流 I_{sc} : $3.47[\text{A}]$ 、最適動作電圧 V_{op} : $0.51[\text{V}]$ 、最適動作電流 I_{op} : $3.26[\text{A}]$ であり、1セル当たりの定格電力 P_r は $1.65[\text{W}]$ 、セルは Si 単結晶型である。

4. 実験結果

図2は2クラスタ($N=2$)構成における両方式のサーモ画像である。従来方式(同図(a))のホットスポット発熱は $126[^\circ\text{C}]$ と著しく高い温度であるのに対し、提案方式(同図(b))のホットスポットセルは周りの正常セルの温度と同等でありほとんど発熱することはなかった。

図3は3クラスタ($N=3$)構成、図4は5クラスタ($N=5$)構成における両方式のサーモ画像である。従来方式(同図(a))のホットスポット発熱は $125\sim 126[^\circ\text{C}]$ であり2~5クラスタ構成はほぼ同じ発熱温度であった。一方で提案方式(同図(b))では約 $48[^\circ\text{C}]$ と温度が少し上昇したものの従来方式と比較して非常に低い温度であり、本提案方式の高い発熱低減効果が認められた。

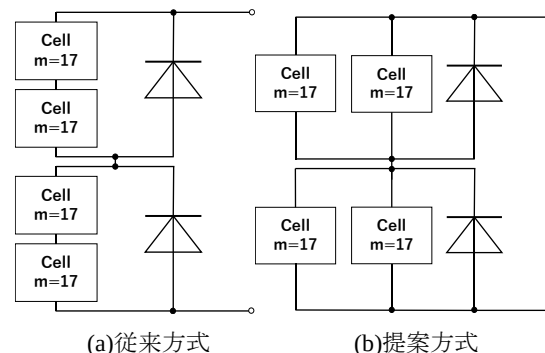


図1 各構成の概略図

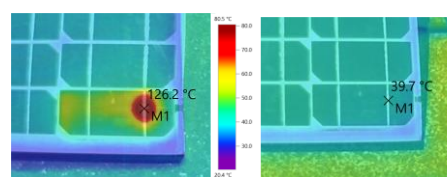


図2 $N=2$ における発熱 ($P_r=112[\text{W}]$)

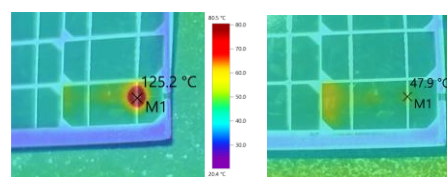


図3 $N=3$ における発熱 ($P_r=168[\text{W}]$)

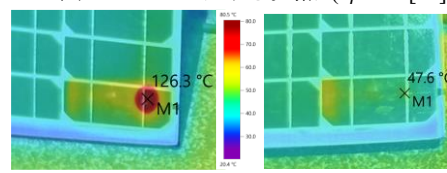


図4 $N=5$ における発熱 ($P_r=281[\text{W}]$)

5. まとめ

本研究ではホットスポットの発熱を低減するためのダブルセルクラスタ方式を提案した。本方式は、セルの構成を変更するだけでコストを増加させることなく、発熱を抑制することが出来るというメリットを有している。そこで、実際のセルを用いて、2~5クラスタで構成したストリングにおいて、従来方式と提案方式のホットスポット発熱を比較した。

その結果、提案方式は従来方式に比べて著しく発熱が抑制され、特に提案方式の2クラスタストリングではほとんど発熱せず、高い抑制効果が実証された。

今後は単結晶 Si 型以外の各種 PV モジュールについてもその効果を検討していく予定である。

AI による単相電流型コンバータの高調波抑制制御

*久保田 晶(神奈川工科大学)、笹木 柊之介(神奈川工科大学)、**板子 一隆(神奈川工科大学)

1. はじめに

交流の電気(AC)を直流の電気(DC)に変換する単相電流型コンバータは入力側に高調波が発生し、電力ヒューズの過熱熔断やコンデンサの異常過熱等の問題を引き起こす。

そこで本研究ではこの高調波を抑制するために AI の代表的なアルゴリズムであるニューラルネットワーク(NN)を用いた制御方式を提案し、その抑制効果をシミュレーションにより検討している。

2. 提案する回路構成

図 1 は提案する制御方式を適用した単相電流型コンバータの等価回路である。入力側に交流電源、出力側には RL 負荷を接続し、入力側にニューラルネットワークで算出された補償電流 i_{com} を出力するための電流源が並列に接続されている。

3. 補償電流の計算

補償電流を求めるためのニューラルネットワークの概念図を図 2 に示す。入力電流 i_{in} をフーリエ級数で表し、各 $\sin$ 、 $\cos$ の項を入力層とする。各項の重みを $w_A, w_B \dots w_{nA}, w_{nB}$ で表し、中間層で目的関数の計算と最適化を行う。これによって得られた重みを $w'_A, w'_B \dots w'_{nA}, w'_{nB}$ とし、出力層の補償電流 i_{com} の予測を行う。また重みの計算には勾配降下法を用いた。

4. シミュレーション結果

図 3 に各部電流波形を示す。このときのシミュレーション条件は $V=100[V]$ 、 $R=10[\Omega]$ 、 $L=100[mH]$ 、電源の周波数 $f=50[Hz]$ である。

同図(a)は補償前の入力電流波形であり、これに算出した補償電流 i_{com} (同図(b))を適用した電流波形が同図(c)となる。このときのひずみ率は、補償前の入力電流で 46.3[%]、補償後の入力電流で 4.6[%]と大きく改善され、本制御方式による高調波抑制効果が確認された。

5. まとめ

本研究では AI の代表的なアルゴリズムであるニューラルネットワークを適用して単相電流型コンバータに発生する高調波の低減効果をシミュレーションにより検討した。

その結果、ひずみ率を 5[%]以下に抑えることができ、高調波抑制対策ガイドラインのひずみ率 5[%]以下を満たすことが可能であることが確認された。

今後は、補償後の波形で生じたスパイクノイズの除去方法について検討し、さらに高調波を低減するための検討を行う予定である。

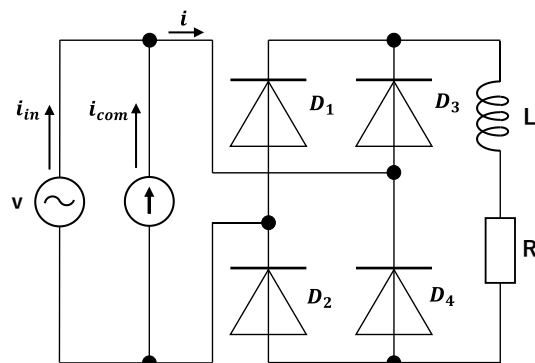


図 1 検討する単相電流型コンバータの等価回路

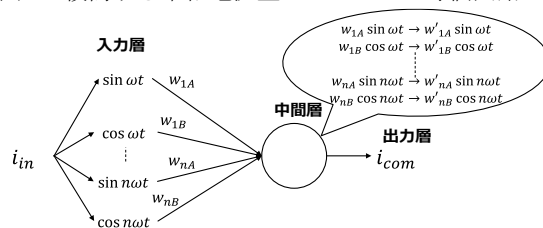
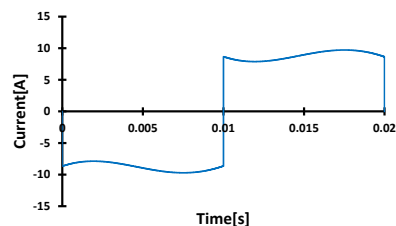
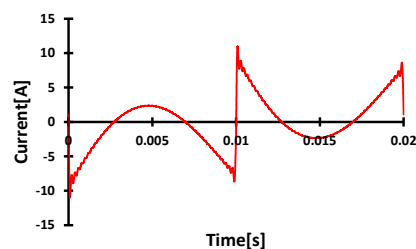


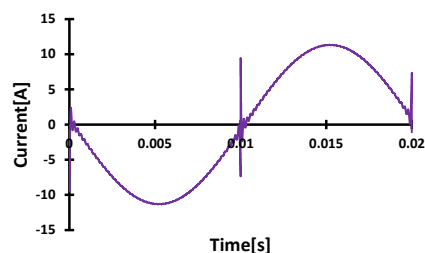
図 2 提案するニューラルネットワークの概念図



(a) 入力電流(補償前電流) i_{in}



(b) 補償電流 i_{com}



(c) 補償後電流 i

図 3 各部電流波形

水酸化アルミニウムと炭酸カルシウムのボールミリングによるメタン生成

*近江 柊杜(東海大学工学部材料科学科)、**源馬 龍太(東海大学工学部応用化学科)

1. 緒言

近年、大気中への CO_2 排出量の増加による地球温暖化が進行している。そこで、水素をエネルギーキャリアとして用いる水素エネルギーシステムが注目されているものの、速やかな移行にはまだ時間を要する。そこで、 CO_2 排出量の削減の観点から CO_2 のメタン化（メタネーション）が提案されている。これは、サバティエ反応を利用して水素と排出 CO_2 からメタンを生成するものである。メタンは燃焼時に CO_2 を排出するが、メタネーションをおこなう際の原料として、発電所や工場などから回収した CO_2 を利用すれば、燃焼時に排出された CO_2 は回収した CO_2 と相殺されるため、大気中の CO_2 量は増加しない。メタネーションを追加の CO_2 排出無しで起こすことができれば、 CO_2 排出は実質ゼロになる[1]。しかし、従来この反応には貴金属触媒と 300°C 以上の高温を必要とすることから、異なるプロセスもしくは反応温度の低温化が求められている。先行研究において、炭酸カルシウム (CaCO_3) の水素雰囲気中でボールミリング (BM) した場合、低温でもメタンが生成されることが確認された[2]。この結果より、アルカリ土類炭酸化物から炭素がメタン生成に供されていることが考えられる。また、水酸化物をボールミリングすることで水素が生成することも報告されている[3]。そこで本研究では、産業廃棄物である水酸化アルミニウムを水素源とし、同じく廃棄物として有効利用方法が模索されている、貝殻の主成分である炭酸カルシウムを CO_2 源として遊星ボールミルを用いてボールミリングすることによる廃棄物からのメタンの生成を目的とした。

2. 実験方法

粉末水酸化アルミニウム(高純度化学研究所製、純度 99.99%)を容積 45 ml のジルコニア製の容器に 0.25 g 投入した。粉碎媒体としてジルコニア製のボールを 6 個投入した。容器内を 30 分間程度ロータリーポンプにより、真空排気を行った。その後遊星ボールミル (Fritsch, Pulverisette 5) により 24 時間ボールミリングを行った。回転速度は 300 rpm とした。ボールミリング後、容器内の気体についてガスクロマトグラフィー (GC: ジーエルサイエンス株式会社, GC-3210) を用いて、ガス分析を行った。さらに、実験前後の試料粉末について X 線回折装置 (XRD: Rigaku, Miniflex 600) を用いて相の同定を行った。

3. 実験結果及び考察

図 1 に BM 後の容器内のガス成分結果を示す。水素の検出時間である 0.2 分の位置にピークが出現したことから、水素の生成を確認できた。これは、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ を BM したことで、 $\text{Al}(\text{OH})_3$ が分解され、水素が生成されたと考えられる。図 2 に BM 前後の試料の XRD 結果を示す。BM 前では水酸化アルミニウム由来のピークが確認された一方で、BM 後では容器の摩耗粉由来の ZrO_2 のピークのみが確認された。SEM-EDS を用いて元素分析を行ったところ、試料粉末のおよそ 9 割が ZrO_2 であることが確認された。また、Mg がコンタミとして存在していた。TG を用いて熱分解挙動を確認したところ、室温から重量が安定せず、減少を始めた。しかし、水酸化アルミニウム、酸化ジルコニウムは室温では熱分解を起こさないことから吸着水の脱離によるものと考えられる[3]。そのほかの結果については当日議論を行う。

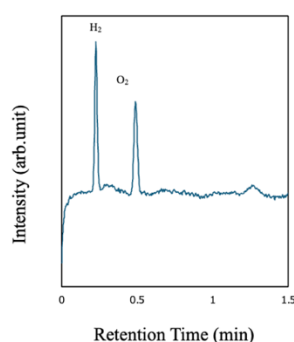


図1 ガス分析結果

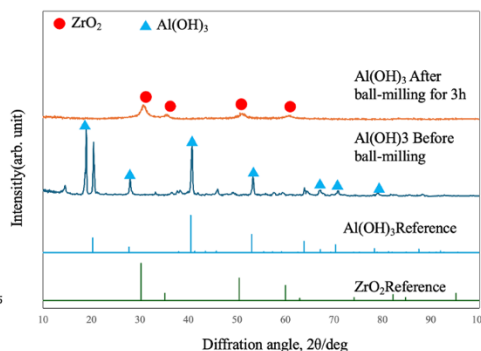


図2 XRD測定結果

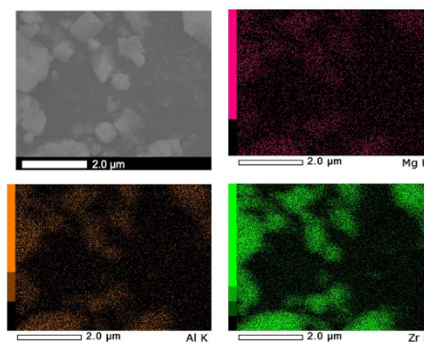


図3 SEM-EDSによる元素分析結果

参考文献

- [1] 経済産業省資源エネルギー庁 ガスのカーボンニュートラル化を実現する「メタネーション」技術
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/methanation.html>
- [2] 石口裕貴、東海大学 工学部材料科学科 2022 年度卒業論文
- [3] 遠田和大、東海大学 工学部材料科学科 2022 年度卒業論文

インピーダンス測定法を用いた固体高分子型燃料電池の直列抵抗成分の評価

*菅原唯(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、庄善之(東海大学工学部電気電子工学科)、原田亮(東海大学総合科学研究所)、**内田ヘルムート貴大(東海大学工学部機械工学科)

1. 背景, 目的

固体高分子型燃料電池(PEFC)は、クリーンで効率的なエネルギー変換のための有望な技術であり、自動車、定置型発電、携帯機器など様々な用途で重要な役割を果たしている¹。PEFCの発電特性は、直列抵抗(R_s)と並列抵抗(R_p)を含むセル内の内部抵抗に大きく影響される。直列抵抗(R_s)はナフィオン膜中のプロトン移動抵抗や、カーボンペーパーとカーボンブロック間の接触抵抗などが含まれる²。一般的に、これらの抵抗を分離して評価することは困難である。PEFCの性能と寿命を最適化するためには、これらの抵抗を理解し、正確に評価する必要がある。

本研究では、不織布を用いてカーボンペーパーの開口面積(S_c)を調整し、インピーダンス測定法を用いてPEFCの直列抵抗(R_s)を、ナフィオン膜の抵抗率(R_N)とカーボンペーパーとカーボンブロックの接触抵抗率(R_c)に分離する方法を提案する。

2. 実験

固体高分子型燃料電池のプラチナ触媒には、田中貴金属工業製TEC61E54を用いた。この触媒のプラチナ(Pt)とルテニウム(Ru)の濃度は、それぞれ30%と23%であり、水素極側と酸素極側のそれぞれに13.5 mgを使用した燃料電池を作製した。不織布の中央を、開口面積(S_c)を1~9 cm²に変化させて、MEAの両面に被せ、開口面積(S_c)ごとに評価を行った。燃料電池の作動には、加湿された水素ガスと酸素ガスを用いて70°Cで行なった。水素ガスと酸素ガスの流量は1000 SCCMとした。燃料電池の出力電流に対する出力電圧(電流電圧特性)を評価した。燃料電池の内部抵抗を明らかにするために、インピーダンス測定を行なった。インピーダンス測定は、測定時の直流電流を0.25 Aから最大4 Aまでに変化させて行なった。インピーダンス測定時の交流電流変調の振幅値は0.1 Aであり、変調周波数を9000 Hzから0.1 Hzまで変化させた。さらに、カーボンペーパーとカーボンブロックの接触抵抗率(R_c)と、ナフィオン膜の抵抗率(R_N)の値を含む直列抵抗の回路モデルを考案し、最小二乗法フィッティングによりそれぞれの値を見積もった。

3. 結果, 考察

図1に、インピーダンス測定法を用いて測定した開口面積(S_c)に対する並列抵抗(R_p)と直列抵抗(R_s)の変化を示す。図中には、直列抵抗(R_s)の回路モデルで最小二乗法フィッティングをした結果を黒線で示した。開口面積(S_c)を増加させた場合、並列抵抗(R_p)は、0.036 Ω で一定の値であった。一方、直列抵抗(R_s)は、0.065 Ω から0.022 Ω に減少した。

並列抵抗(R_p)の値が一定であることから、開口面積を変化させてもPEFCの作製に用いたプラチナ(Pt)触媒の活性度は変化しないことがわかる。一方、開口面積(S_c)の増加は、直列抵抗(R_s)を減少させた。開口面積の増加は、カーボンブロックとカーボンペーパー間の接触面積を増加させる。カーボンブロックとカーボンペーパー間の接触面積の増加は、接触抵抗を減少させる。直列抵抗(R_s)は主に、プロトン移動抵抗と、接触抵抗で構成される。このことから、開口面積(S_c)の増加による直列抵抗(R_s)の減少は、接触抵抗の減少に起因すると考えられる。本実験では、不織布を用いて開口面積(S_c)を変化させることによって、プロトン移動抵抗を変化させることなく、接触抵抗のみを変化させることに成功した。

本発表では開口面積に対する直列抵抗の変化を示す直列抵抗モデルを提案する。その回路モデルを測定結果に適用することで、カーボンペーパーとカーボンブロックの接触抵抗率(R_c)は0.0248 Ωcm^2 、ナフィオン膜の抵抗率(R_N)は8.069 Ωcm と見積もられた。直列抵抗モデルの詳細については、当日発表する。

参考文献

- ¹ EG&G Technical Services, Inc., Fuel Cell Handbook (Seventh Edition), U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy (2004).
- ² 板垣昌幸, Electrochemistry, 78, 783 (2010).

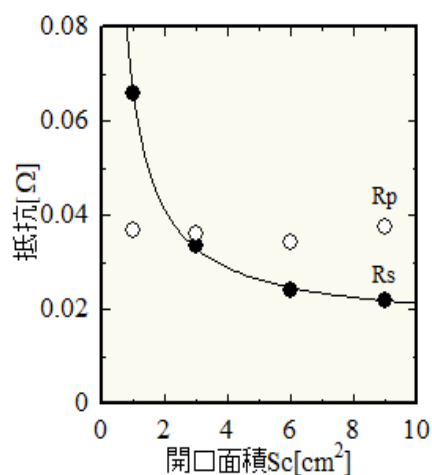


図1 開口面積 S_c [cm²]に対する並列抵抗 R_p [Ω]と直列抵抗 R_s [Ω]の変化。

Si 単結晶 PV モジュールの短絡開放時における内部発熱の実験

*外石千尋(神奈川工科大学工学部電気電子情報工学科)、**板子一隆(神奈川工科大学工学部電気電子情報工学科)

1. はじめに

太陽電池は太陽光からエネルギーを得ることで発電を行っているが、総合効率向上のために太陽熱も利用した PVT システムがある。このシステムでは太陽電池が冷却されるので電気的特性が向上する。収集した熱エネルギーは家庭用温水器や低温工業プロセス、暖房などの低温用途に適用される。このシステムのより精度の高い制御を実現させるためには、太陽電池自体の発熱を見積もることが重要となる。しかし、これまでこのシステムの太陽電池の動作点による内部発熱についての電氣的な解析は行われていない。そこで筆者等は先に PV セル 1 枚について、動作点による発熱特性を実験により検討した⁽¹⁾。本論文では、屋外で太陽光を光源として、太陽電池モジュールの短絡時と開放時に太陽電池内部で起こっている温度の変化を解析する。この特性が明らかになれば、実システムにおける太陽電池の温度調節の精度を上げることができると考えられる。

2. シミュレーション

ここではまず、太陽電池モジュールのシミュレーションを行う。本論文で使用する太陽電池の仕様を表 1 に示す。この太陽電池モジュールでは、接続されている太陽電池セルが 34 枚である。図 1 は、このパネルの電氣的特性をシミュレーションしたものである。同図より、発熱電力は、短絡状態より開放状態の方が大きいことがわかる。このことから、太陽電池モジュールの外部負荷が軽くなると短絡状態よりも熱を持つことが予想できる。

表 1 使用モジュールの規格

	記号	値
公称最大電力	P_m	15W
公称開放電圧	V_{oc}	21.2V
公称短絡電流	I_{sc}	0.96A
公称最大電力動作電圧	V_{pm}	17.4V
公称最大電流動作電流	I_{pm}	0.87A
公称質量	-	2.0kg

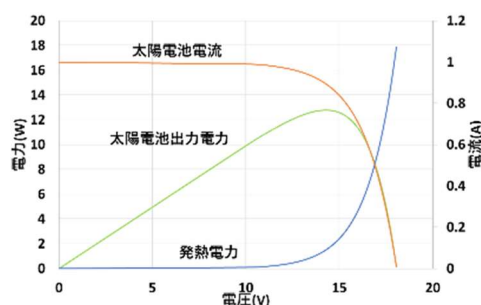


図 1 シミュレーショングラフ

3. 実験方法

実験場所を屋上とし、日射強度をできるだけ一定に保つために時間帯を正午とする。まず、太陽電池モジュールを短絡状態にし、太陽光を当てる。20 分経過後、表面温度を測定する。次に、太陽電池モジュールの外部負荷を開放状態にし、太陽光を当てる。20 分経過後、表面温度を測定する。実験で使った太陽電池モジュールは 34 枚のセルが結合された構造のため、モジュールの温度を 34 枚のセルの平均温度とした。

4. 実験結果

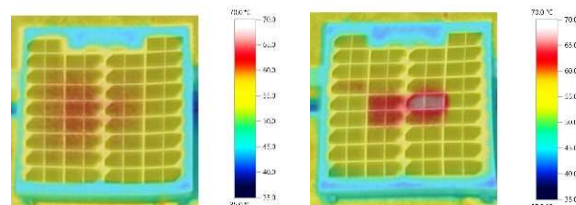
実験当日の天候は快晴、地上での風 3m/s、外気温は 34℃であった。

表 2 に太陽電池モジュールの温度を示す。同表より、外部負荷が開放状態のとき 57.6℃となり、短絡状態の 56.1℃より高くなることが確認された。このとき、日射強度は短絡状態の方が高かった。

図 2 に太陽電池モジュールの表面温度画像を示す。温度画像のスケールはどちらも 35℃から 70℃である。同図より、開放時では短絡時に比べ、モジュール全体が熱を持っていることがわかる。また、短絡時には一部のセルで著しい温度上昇がみられた。

表 2 実験結果

	日射強度[W/m ²]	平均温度[℃]
短絡	980	56.1
開放	920	57.6



a)開放状態 b)短絡状態

図 2 モジュール温度画像

5. まとめ

シミュレーションにより、太陽電池モジュールの外部負荷が軽いほど内部発熱電力が大きくなることが確認された。

実験結果より、太陽光を光源としたとき、太陽電池モジュールの外部負荷が軽いほど太陽電池内部の温度が上昇することが確認できた。また、短絡時にセルの一部に周りよりも高い温度上昇がみられた。

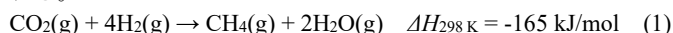
従って、今後、短絡時の太陽電池内部の挙動を解析する予定である。

圧電効果を利用した CO₂ 還元の検討

*布瀬小枝(東海大学大学院 工学研究科 応用理化学専攻)、澤原馨登(筑波大学大学院 理工情報生命学術院 数理物質科学研究群 化学学位プログラム、国立研究開発法人 産業技術総合研究所 触媒化学融合研究センター)、**源馬龍太(東海大学 工学部 応用化学科)

1. 背景, 目的

大気中への CO₂ 放出量の削減が求められている近年、CO₂ をメタン (CH₄) などに変換して回収・利用する方法が提案されている。¹ このプロセスは(1)式に示すサバティエ反応として知られている。具体的には、再生可能エネルギーを利用して作られた H₂ と、人為起源 CO₂ から CH₄ を合成するというものである。しかし、この反応は Ni 等の触媒存在下において高温 (300~400°C) が求められる。² そのため、より高効率に CH₄ 生成可能な触媒が望まれており、省エネルギーの観点や熱源の存在しない場所においての応用を考えると、反応温度の低温化や他のプロセスへの転換が望まれる。



圧電体に物理的な圧力をかけると分極し、電荷の偏りが生じることで、化学反応が起こりやすい状態になると考えられる。³ 著者らは、H₂+CO₂ 混合ガス中における BaTiO₃ 粉末のボールミリング (BM) によって、CH₄ が生成したことを報告している。しかし、BM によって BaTiO₃ 中のごく一部の Ba が炭酸化し、この炭酸化物が CH₄ 生成に寄与した可能性も考えられた。⁴ そこで、本研究では、BaTiO₃ の BM による CH₄ 生成についてより詳細に検討するとともに、BaTiO₃ 以外の圧電体や圧電体ではない試料を用いた検証を行うことで、圧電効果を利用した圧電体表面における低温での CO₂ の還元ならびにメタン化の可能性を検討した。

2. 方法

試料粉末として、BaTiO₃、BaCO₃、Pb(Zr, Ti)O₃、PbTiO₃ を用いた。SUS304 製の容器 (容量 52 ml) に SUS304 製の球 (直径 10 mm、10 個、総重量 40 g) および試料粉末を入れ、ガス置換可能な蓋を用いて密閉し、ロータリーポンプにて真空引きを行った後、CO₂ 25 ml および H₂ 25 ml をシリンジを用いて注入した。これを遊星ボールミル (Fritsch, pulverisette 5) を用いて、回転速度 300 rpm で BM を行った。BM の前後で、容器内の気体を 100 μl のシリンジを用いて採取し、ガスクロマトグラフィー (GC: GL Sciences, GC 3210) により気体の組成分析を行った。

3. 結果及び考察

GC 結果から計算によって求めた CH₄ 生成量と CH₄ 生成速度を Table 1 に示した。BaTiO₃ の BM 後の粉末の XRD (Rigaku, Miniflex600) 測定結果からは相の変化は確認されていないが⁴、X 線光電子分光分析 (XPS) により、表面の Ba の一部が炭酸化していることが確認された (Figure 1)。すなわち、BM によって形成された炭酸化物が CH₄ 生成に寄与した可能性が考えられた。しかし、BaCO₃ の BM による CH₄ 生成速度が BaTiO₃ の場合と比較して小さかったことや、BaTiO₃ の BM によって形成された炭酸化物は少量であったことから、炭酸化物による影響は小さかったと推定される。また、圧電体である Pb(Zr, Ti)O₃ の BM によって CH₄ が生成された。一方で、圧電効果を生じない物質である PbTiO₃ を用いた場合や、試料粉末を用いなかった場合には、CH₄ の生成が確認されなかった。したがって、圧電体のもつ圧電性が BM における CH₄ 生成の主因である可能性が示唆された。

4. 参考文献

- ¹ Agency for Natural Resources and Energy, Annual Report on Energy (2023), 206-211.
- ² Kriston P. Brooks, Jianli Hu, Hunayang Zhu and Robert J Kee, Chem. Eng. Science, 62, (2007) 1161-1170.
- ³ N. Sezer, M. Koç, Nano Energy, 80, (2021), 105567.
- ⁴ S. Fuse, R. Gemma, K. Sawahara, Journal of Advanced Science, Vol. 36, 36115(2024).

Table 1. CH₄ 生成量及び生成速度

試料	CH ₄ 生成量 理論値との比較(%)	最大CH ₄ 生成速度 (μmol g ⁻¹ h ⁻¹)
BaTiO ₃	18	4.5
BaCO ₃	1.7	0.75
Pb(Zr, Ti)O ₃	1.7	0.50
PbTiO ₃	CH ₄ 生成なし	
ブランク	CH ₄ 生成なし	

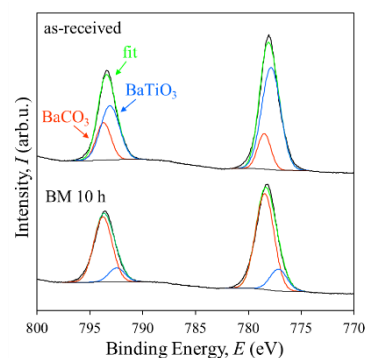


Figure 1. XPS 測定結果 (Ba 3d, Al Kα)

ハイブリッドスイッチトリラクタンスモータの基礎検討に関する研究

*橋本 洸亮、安田 一心（東海大学 工学部 電気電子工学科）

**大口 英樹（東海大学 工学部 電気電子工学科）

1. はじめに

現在、一般的に使用されているモータである PM (Permanent Magnet) モータに比べ、SRM (Switched Reluctance Motor) は、回転子に永久磁石を用いないため、モータとして堅牢である特徴がある。

本研究では、SRM の固定子側に永久磁石を備え、PM モータの大きなトルクと SRM の堅牢という特徴を併せ持つ HBSRM (Hybrid Switched Reluctance Motor)⁽¹⁾⁽²⁾ について電磁界解析により基礎検討を行う。

2. モデル仕様および解析条件

Fig. 1 に解析モデルを、Table 1 に仕様を示す。モデル内の永久磁石について、時計方向と反時計方向に着磁された磁石が交互に配置されている。

電流は 4 相のコイルの内 2 相を励磁する方式（2 相励磁）を採用した。電流は矩形波とし、大きさは 5 A ~ 40 A として 5 A 刻みで解析を行った。回転速度は 1000 min⁻¹ とした。

なお、解析には電磁界解析ソフト JMAG を用いた。

3. 解析結果

Fig. 2 にトルク-電流特性を示す。Fig. 2 より、電流の増加に伴いトルクも増加するものの、30 A 以上で飽和する特性となった。

Fig. 3 に 30 A における磁束密度コンター図を示す。Fig. 3 より、ステータコアのティース根本部分が約 1.8 T に達して磁気飽和を生じており、上述のようなトルク特性となったと考えられる。

4. 今後の課題

磁石を有しない従来の SRM との特性比較、および実機検証により解析結果の妥当性を検証することが今後の課題である。

参考文献

- (1) 大内 茂人，萩野 三四郎：「電動アシスト自転車用 HBSRM モータの開発」，令和 4 年電気学会全国大会，5-085, 2023.
- (2) 深津 健一，萩野 三四郎：「ハイブリッド磁石を利用した SR モータの開発」，RM-03-140, 2003.

Table 1. Machine specifications.

Poles	12
Slots	16
Phases	4
Number of coil turn / tooth	19
Parallel number of strands	2
Number of parallel branches	1
Stator outer diameter (mm)	Φ 66.3
Rotor outer diameter (mm)	Φ 32.0
Stack length (mm)	30.0

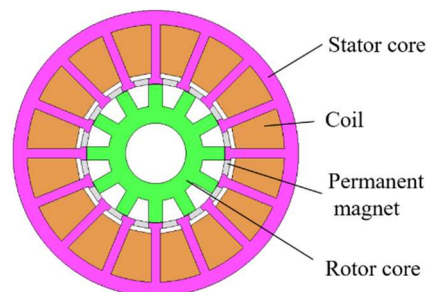


Fig. 1 Analysis model.

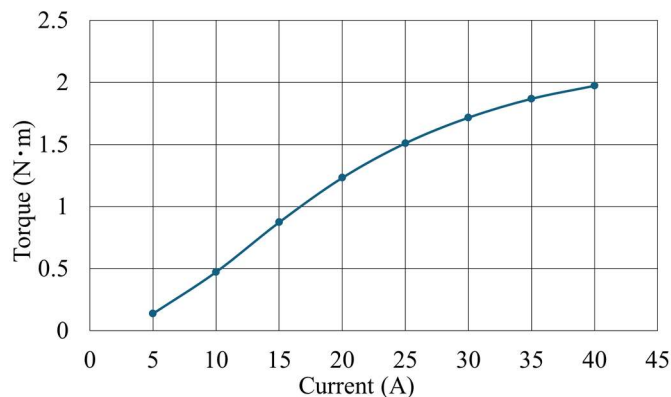


Fig. 2 Torque waveform.

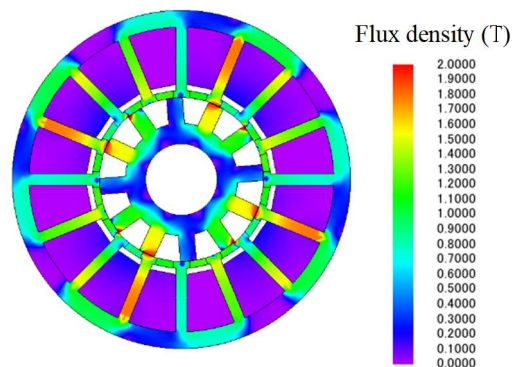


Fig. 3 Magnetic flux density contour diagram

永久磁石同期機における 1 スロットあたりの素線本数が循環電流損と渦電流損に与える影響に関する研究

*小野佑馬、斎藤隆太、白井智貴（東海大学工学部電気電子工学科）

**大口英樹（東海大学工学部電気電子工学科）

1. はじめに

現在、世界で消費される電力の削減が課題となっている。世界の消費電力のうちモータの割合は約 5 割を占めており、モータの高効率化は消費電力の削減につながり、環境負荷の軽減に非常に大きな効果をもたらす。

一般にモータの損失は、銅損、鉄損、機械損、そして漂遊負荷損の 4 つに分けられる。この漂遊負荷損はどの部位でどの程度発生しているか不明瞭な損失である。本研究では漂遊負荷損の 1 つである素線の循環電流損と渦電流損に着目し、巻線構成がこれら損失に与える影響について電磁界解析により検討したので報告する。

2. 解析モデルの仕様と解析条件

Table 1 に解析モデルの仕様を示す。解析対象は 6 極 36 スロットの永久磁石同期機である。1 スロットあたりのコイルの数が 4 本のモデルを Model A、8 本のモデルを Model B、6 本のモデルを Model C とする。Fig.1～3 に Model A、B、C の解析モデルをそれぞれ示す。解析条件として、素線の電流密度を同一とし、回転速度は定格速度とした。巻線構成はいずれのモデルも誘起電圧が同一となるようにした。解析には電磁界解析ソフト JMAG を用いた。

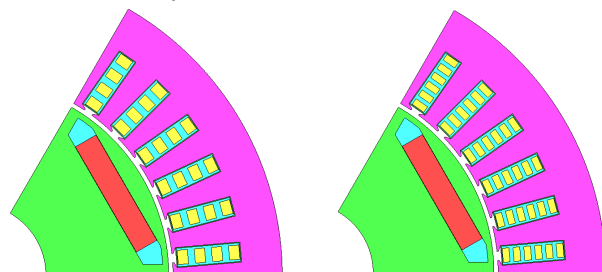


Fig. 1. Analysis model of Model A.

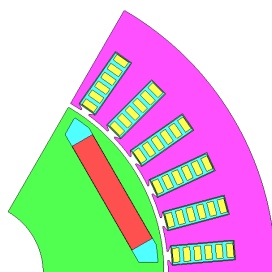


Fig. 2. Analysis model of Model B.

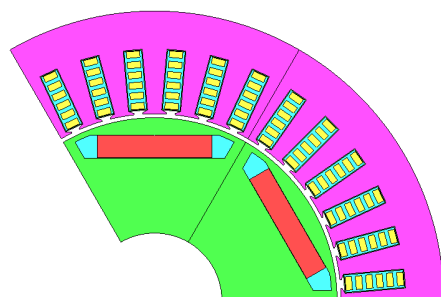


Fig. 3. Analysis model of Model C.

Table 1. Machine specifications.

	Model A	Model B	Model C	Unit
Rated output power	45			kW
Rated torque	214			Nm
Rated rotational speed	2000			r/min
Stator outer diameter	215			mm
Stack length	306.8			mm
Number of turn / slot	2		6	
Parallel number of stands	2	4	1	
Number of parallel branches	1		3	
Rated current	275.8			Arms
Current density	7.7			A/mm ²
Coil width	5			mm
Coil height	3.6	1.8	2.4	mm

3. 解析結果

Fig. 4 に素線損失の比較を示す。Model C は Table 1 で示した通り持ち数を 1 にしているため、循環電流損が発生しない。また、渦電流損は Model A と B の中間の値となっている。渦電流損は Model A に対し Model C は 27 %低減し、Model B に対しては 88 %増加している。

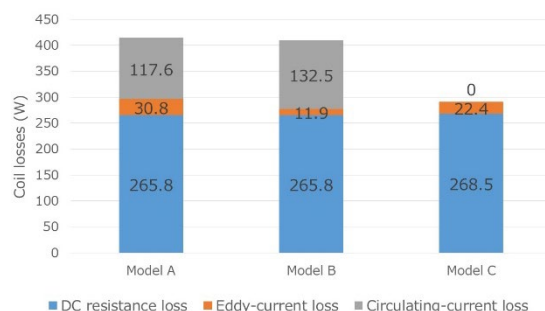


Fig. 4. Comparison of the coil losses

4. 今後の課題

- 6 モデルの効率マップ作成
- スロット数を変えたときの、循環電流損、渦電流損の明確化

参考文献

- [1] 上坂 遼, 若月 健登, 榎戸 翔大, ニノ宮 雄斗, 大口 英樹:「メッシュサイズが PM モータの素線損失へ与える影響に関する研究」、Society of Advanced Science (SAS) Symposium、B-12、2023

アルカリ土類金属の炭酸化物と水酸化物のボールミリングによるメタン生成の可能性

*馬 博遠(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)

1. 背景, 目的

世界的には、エネルギー需要が年々増加し、化石燃料の使用による二酸化炭素(CO₂)の排出が問題となっている。CO₂の削減を目的として、水素(H₂)と二酸化炭素(CO₂)を反応させ、燃料として利用可能なメタン(CH₄)を合成する「メタネーション」が提案されている。

先行研究において、炭酸カルシウム(CaCO₃)にニッケル(Ni)粉末を担持させた試料は水素雰囲気中で加熱した場合、メタンが生成されることが確認された[1]。この結果より、アルカリ土類炭酸化物から炭素がメタン生成に供されていることが示唆されている。また、水酸化マグネシウム(Mg(OH)₂)を真空中でボールミリング(BM)した場合、水素(H₂)が生成することが確認されている[2]。このことから、Mg(OH)₂中のHが水素生成ひいてはメタン生成にも寄与することが示唆されている。

そこで本研究では、Mg(OH)₂とCaCO₃およびNi粉末を出発原料としたボールミリングによるメタン生成の可能性について検討することを目的とした。

2. 方法

SUS304製ミリング容器中にSUS304製直径10mmのボールを10個投入した後、試薬Mg(OH)₂粉末(株式会社高純度化学研究所、純度99.99%)とCaCO₃粉末(林純薬工業株式会社、純度99.99%)を水素と炭素のモル比が4:1となるようにそれぞれ秤量し、Ni粉末(関東化学株式会社、純度99%)とともにミリング容器に投入した。ロータリーポンプによりミリング容器内を30分間真空排気した後、遊星ボールミル装置(Fritsch, Pulverisette 5)により8時間、24時間、72時間BMを行った。回転速度は300rpmとした。BM後にミリング容器を取り出し、ガスクロマトグラフィー(GLサイエンス株式会社GC-3210)によりミリング容器内部の気体成分を分析した。得られた試料についてX線回折装置(Rigaku, MiniFlex600, Target: Cu Kα)による相の同定を行った。また、SEM-EDX(NeoScope JCM-6000Plus, JEOL)による表面観察及び元素分析を行った。

3. 実験結果および考察

表1より、時間とともに水素生成量が増加傾向にあることがわかる。表2より、メタン生成が確認されたが、生成量の時間依存性は確認されなかった。この原因は、BMにより生成したH₂の量が不足していたためと考えられる。

図1より、BM後43°と62°付近にMgOのピークが検出されたことから、Mg(OH)₂の脱水反応により、MgOとH₂Oが生成されたと考えられる。

図3より、BM後の試料では、BM前の試料からは見られなかったFeとCrの存在を確認した。FeとCrの由来は、BMの際にミリング容器やボールから摩耗粉とし

て混入したSUS304と考えられる。

表1 水素生成量のボールミリング時間依存性(ml)

	8 h	24 h	72 h
Ni 5 wt. %	0.12	0.45	3.40
Ni 10 wt. %	0.21	0.69	14.09

表2 メタン生成量のボールミリング時間依存性(ml)

	8 h	24 h	72 h
Ni 5 wt. %	0	0	0.65
Ni 10 wt. %	0	0	2.18

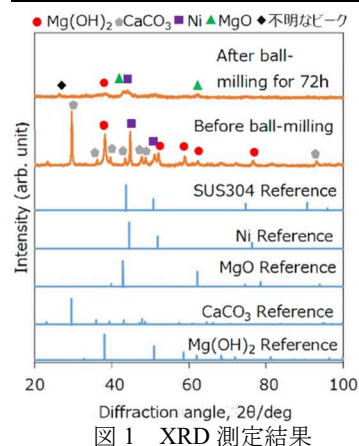


図1 XRD測定結果

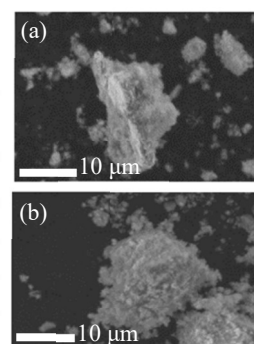


図2 SEM像

(a)Before ball-milling
(b)After ball-milling for 72 h

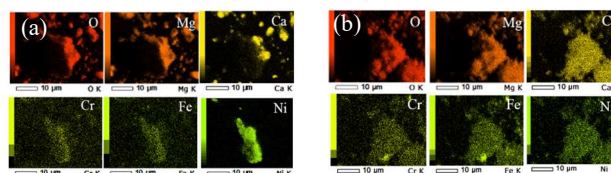


図3 EDXマッピングデータ

(a)Before ball-milling (b) After ball-milling for 72 h

4. 結論

Mg(OH)₂とCaCO₃をNi粉末と共にボールミリングすることにより72時間後にメタン生成が確認されたが、生成量が少ない結果となった。一方、Ni添加量の増加によるメタン生成速度の増加が見られたため、今後は試料とNiの割合を調整することで、メタン生成量の増加が見込めると考えられる。

参考文献

1. T. HAYASHI, K. SAWAHARA and R. GEMMA, Journal of Advanced Science, Vol. 34, (2022) 34103.
2. 遠田和大、東海大学 工学部材料科学科 2022 年度卒業論文

Fe 担持した CaCO_3 からのメタン生成の可能性

*上田颯斗(東海大学 工学部 材料科学科)、吉田有章(東海大学大学院 総合理工学研究科総合理工学専攻、東海大学 マイクロ・ナノ研究開発センター)、**源馬龍太(東海大学 工学部 応用化学科、東海大学 マイクロ・ナノ研究開発センター)

1. 背景, 目的

化石燃料の大量使用に伴う CO_2 排出量の増加に起因した地球温暖化の進行が深刻化している。そこで、燃焼時に CO_2 を排出しない水素燃料が注目されているが、水素を利用するためのインフラが確立されるまでにはまだ時間がかかる。一方で、 CO_2 排出量の削減は急務であることから、 CO_2 をメタンに変換し、燃料として利用する CO_2 のメタン化が提案されている。¹

先行研究において、炭酸カルシウム (CaCO_3) にニッケル (Ni) を担持させた試料を水素雰囲気で加熱したところ、 500°C 付近で活発なメタン生成が確認された。² 通常 CaCO_3 は 820°C で熱分解するが、先行研究では CaCO_3+Ni の熱分解とメタン生成がほぼ同温度で生じることが確認された。² これは、Ni 表面において水素分子が解離し、担持されている CaCO_3 側へと原子状水素が表面拡散することでメタンが生じたものと推測される。

Ni は遷移金属の中でも高価である一方、Fe は地球上に豊富に存在し、また水素分子の解離も可能であると報告されている。そこで本研究では、水素解離触媒に Fe を使用し、熱重量分析(TG)を用いて、 CaCO_3 の熱分解温度へ Fe の添加量が与える影響について調査することを目的とした。

2. 方法

試料として、炭酸カルシウム(CaCO_3 、純度 99.9%、林純薬工業株式会社)と純鉄(Fe、純度 99.9%、株式会社高純度化学研究所)を使用した。試料の調製にはボールミリング(BM)を用いた。アルゴン(Ar)雰囲気グローブボックス内で、 CaCO_3 および Fe を合計 2.0 g、クロム鋼球をクロム鋼製の容器に入れて密閉し、遊星ボールミル (Fritsch, pulverisette 5) を用いて 1 時間 BM を行った。 CaCO_3 および BM によって 5、10、15、20 wt% の Fe を添加した CaCO_3 について、TG 測定装置 (SHI, EXSTAR6000) を用いて重量変化カーブを測定し、得られた重量変化カーブのピーク温度から熱分解温度を求めた。昇温速度は、 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ とした。水素の影響の有無についての調査に先立ち、まず、純 Ar 雰囲気での TG 測定を行い、熱分解温度に変化があるか調査した。

3. 実験結果

各試料の Ar 雰囲気 TG 測定結果を表 1 に示した。重量変化率は、 CaCO_3 の場合、実験値が理論値と同等の値であった。 $\text{CaCO}_3+5\text{ wt}\%\text{Fe}$ の場合、実験値が理論値よりも 10 wt% 以上低かった。Fe の添加量が 5 wt% から 15 wt% にかけて重量変化率の実験値は緩やかに上昇する傾向を示したが、理論値とは一致しなかった。これらの原因としては、BM 時間が短いことで試料が均一に混ざっておらず、所望の組成になっていなかった可能性が考えられる。また、Fe 添加量の増加に伴って熱分解温度が低下する傾向が見られ、20 wt% の Fe の添加によって約 25°C 低下した。この原因として、測定雰囲気中の微量水分が加熱中に Fe と反応し FeO を生成したために、遊離した水素により、 CaCO_3 の熱分解温度が低下した可能性が考えられる。この検証のためには、水分量をコントロールした詳細な調査が必要であると考えられる。

表 1 Ar 雰囲気における TG 測定結果

試料	重量変化率(wt%)		熱分解温度($^\circ\text{C}$)
	理論値	実験値	
CaCO_3	-44.0	-44.7	784.2
$\text{CaCO}_3+5\text{ wt}\%\text{Fe}$	-41.8	-30.6	768.2
$\text{CaCO}_3+10\text{ wt}\%\text{Fe}$	-39.6	-32.8	769.4
$\text{CaCO}_3+15\text{ wt}\%\text{Fe}$	-37.4	-33.1	759.0
$\text{CaCO}_3+20\text{ wt}\%\text{Fe}$	-35.2	-27.8	753.4

5. 結論

本実験では、TG を用いて、 CaCO_3 の熱分解温度へ Fe の添加量が与える影響について調査した。 CaCO_3 の熱分解温度は、Fe の添加量の増加に伴って低下する傾向が見られ、20 wt% の Fe の添加によって約 25°C 低下した。試料の XRD 測定結果および相の同定結果については、当日報告する。

参考文献

¹ 小河脩平、矢部智宏、関根泰、化学と教育、66 巻第 2 号 pp68-71(2018)

² Tomochika.Hayashi, Keito Sawahara, Ryota Gemma, Journal of Advanced Science, Vol. 34, 34103 (2022).

炭酸カルシウムの熱分解挙動の加熱雰囲気依存性

*劉 仟禧(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)

1. 緒言

近年、化石燃料の大量消費による大気中の二酸化炭素(CO_2)濃度が上昇しており、人為起源 CO_2 の地球温暖化への影響が指摘されている。一方、 CO_2 排出量削減は急務であるため、排出された CO_2 と H_2 を反応させメタン(CH_4)を生成する、 CO_2 のメタン化が提案されている。先行研究で、 CaCO_3 にNiを担持させた粉末試料を H_2 気流中で加熱したところ、 500°C 近辺でメタン生成が確認された。 CaCO_3 から CO_2 の脱離が生じたと推測されるが、 CaCO_3 は $550\sim 800^\circ\text{C}$ で熱分解することから、メタン生成反応時の温度はこれより低いこととなり、熱分解により脱離した CO_2 分子が反応に関与しているのか確定はできない。さらに、メタン生成実験における加熱雰囲気は H_2 であり、Ni存在下では H_2 分子の解離が生じることで原子状水素が直接 CaCO_3 と反応することでメタンが生じる可能性もある。本研究では、Ni存在下あるいはNi無しの場合において CaCO_3 を異なる雰囲気で加熱した場合の CaCO_3 の熱分解挙動を調査することとした。

2. 実験方法

実験で用いた CaCO_3 粉末について XRD による相の確認を行った。熱重量分析装置を用いて、熱分解温度ならびに熱重量変化挙動を調査した。分析時の雰囲気を Ar の場合と $\text{Ar}+\text{H}_2$ の場合に分けて実験を行った。加熱による相の変化を確認するため、固定床式触媒反応装置内で CaCO_3 粉末を石英管の中に入れ、 850°C まで Ar 雰囲気中で加熱し、得られた粉末について、XRD により相の同定を試みた。さらに、Ni の影響をみるため、 CaCO_3 粉末と Ni 粉末を重量比 2:1 の割合で遊星ボールミルにより 10 時間混合した後、固定床式触媒反応装置の石英管の中に入れ、 850°C まで水素とアルゴンをそれぞれ流しながら加熱した。 500°C から 850°C までの間で生成したガスをガスクロマトグラフィーにより測定し、加熱中のメタン生成の有無について確認を行った。

3. 実験結果および考察

Ni なしの場合に TG の測定結果になる。 CaCO_3 のみ Ar 雰囲気下での CaCO_3 の熱分解の温度は 770°C であった。 CaCO_3 のみ $\text{Ar}+\text{H}_2$ 混合雰囲気下での CaCO_3 の熱分解の温度は 746°C に低下した。すなわち、 H_2 ガス存在下では、熱分解温度が 24°C 低下した。Ni を添加した場合には、アルゴン雰囲気下での熱分解の温度は 734°C であった。 $\text{Ar}+\text{H}_2$ 混合雰囲気下での混合粉末の熱分解の温度は 657°C となった。従って、 H_2 ガス存在下では、熱分解温度が純 CaCO_3 よりも 113°C 低下することがわかった。

表 1 炭酸カルシウム熱分解温度

試料	Ar 雰囲気下	$\text{Ar}+\text{H}_2$ 雰囲気下
CaCO_3	770°C	746°C
CaCO_3+Ni (33 wt. %)	734°C	657°C

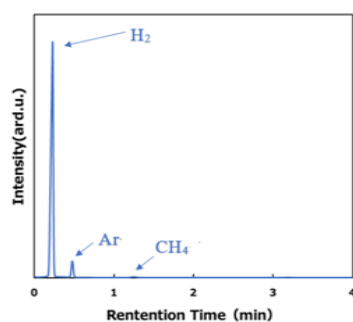


図 1 加熱中生成ガスのガスクロマトグラフ

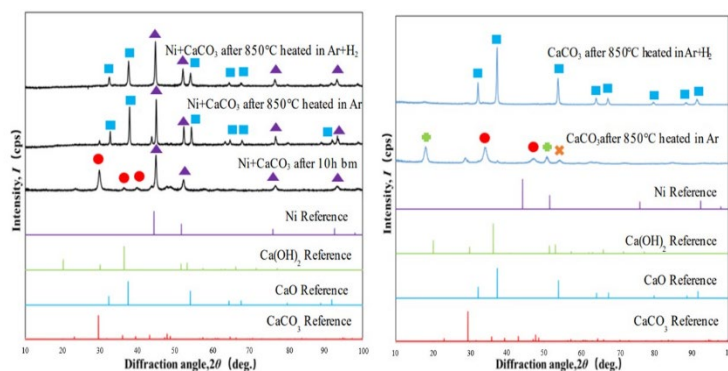


図 2 XRD 測定結果

4. 結論

本実験結果より、Ni 存在下かつ H_2 雰囲気下にて加熱することで CaCO_3 の分解が促進されることが確認された。一方、先行研究で確認されたメタン生成について再現性がみられた。一方、XRD で同定できなかった相や、 CaCO_3 のみを加熱した後の試料中に CaO 相が確認できないことについては、再調査する必要がある。

参考文献

1. T. HAYASHI, K. SAWAHARA and R. GEMMA, Journal of Advanced Science, Vol. 34, (2022) 34103.
2. 岡本 陽佑、東海大学 工学部材料科学科 2022 年度卒業論文

不織布の繊維密度分布に起因する Roll-to-Roll 搬送中のトラフ発生メカニズム解明の基礎検討

*畑中悠希(工学研究科機械工学専攻)、**砂見雄太(工学部機械システム工学科)

1. 研究背景

近年、産業分野ではフィルターや電池セパレータとしての不織布の需要が増加している。不織布は工学的にウェブと称し、一般に Roll-to-Roll(R2R)生産方式によって搬送が行われるが、ウェブに波板状くぼみが生じるトラフやトラフを起因とする折れしわが生じやすい。これに対し、高分子フィルムにおいて線形座屈理論に基づく折れしわ発生予測モデル¹が提案されているが、不織布が持つ繊維分布のランダム性等から従来理論式への適用は困難である。

したがって、本研究では R2R 不織布搬送において折れしわの前兆現象であるトラフ発生メカニズム解明の基礎検討を目的とし、不織布の繊維密度の偏在とトラフ発生との関係性について定量的に評価した。その際、繊維密度の不均一性を画像解析によって評価し、搬送中のトラフ発生位置と比較することによってその関係性を明らかにした。さらに、FEM 汎用解析ソフトを用いて繊維密度に起因する厚み変化が引張時のミーゼス応力分布に及ぼす影響を検証した。

2. 繊維密度の偏在と搬送時のトラフの比較実験

本研究ではウェブの搬送方向を MD、幅方向を CD と定義し、公称目付量 15 g/m^2 の Polypropylene スパンボンド不織布を使用した。本研究で用いた不織布では、面上において繊維密度の偏在が確認された。これは、繊維が固有の不透明性を有し複数の繊維の重なりに応じて視覚的に色斑を呈していることが考えられる。そこで、画像解析によって得られる濃度階調値の変化と搬送時に発生するトラフの位置を比較することでその影響を明らかにする。図 1 に搬送実験装置の概要を示す。マーキングに対し、濃度階調値と張力 $T_w=23.4 \text{ N/m}$ で搬送時のトラフ位置の取得を行った。

図 2 に濃度階調値 102 を閾値として低密度部を抽出した画像とトラフを可視化した画像を重ねたものを示す。結果より、トラフの末端部近傍に低密度部が存在する傾向が得られた。これは、繊維密度が見かけの剛性と関係し、不均一な応力分布が発生したと考えられる。

3. FEM 静的構造シミュレーションによるミーゼス応力分布解析

前章で画像化した不織布に対し、厚みと濃度階調の平均値の関係から繊維密度を厚みに換算し要素を定義した。また、モデルは図 1 に示す部分の寸法を模しており中央部に厚み分布を定義し $T_w=23.4 \text{ N/m}$ の張力を与えた。

図 3 に解析によって得られたミーゼス応力分布を示す。結果より、厚み分布に起因したミーゼス応力が分布していることが確認された。これは、低膜厚部が荷重に対して変形し易いことが原因であると考えられる。

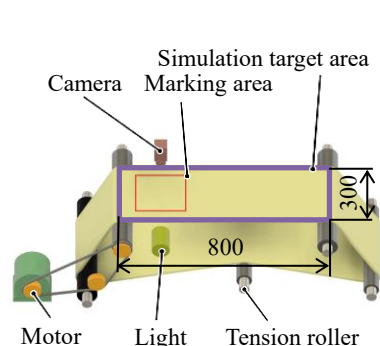


Fig. 1 Web transporting apparatus

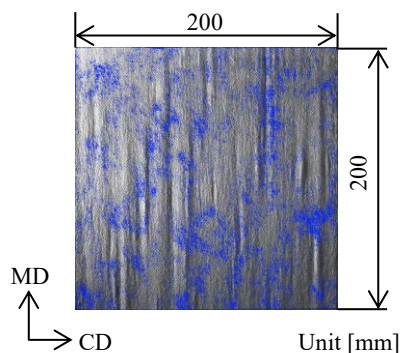


Fig. 2 Trough formations of marker ($T_w=23.4 \text{ N/m}$)

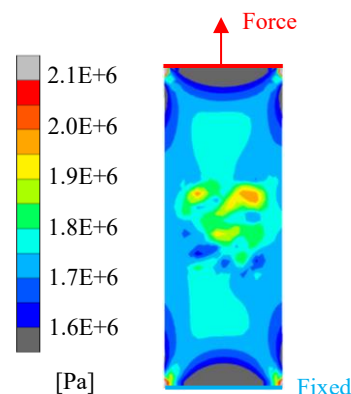


Fig. 3 Result of Mises stress

4. 結論

本研究では本研究では R2R 不織布搬送において折れしわの前兆現象であるトラフ発生メカニズム解明の基礎検討を目的とした。結果より、トラフの末端部付近には低密度部が存在することが明らかになった。また、FEM 静的構造解析では厚み分布に起因したミーゼス応力分布の偏りが確認された。

参考文献

- Good, J. K., Kedl, D. M., and Shelton, J. J., "Shear Wrinkling in Isolated Spans", *Proceedings of 4th International Conference on Web Handling* (1997), pp. 462-479.

移動する円筒状音源が生成する音場の数値解析

*江尻直樹(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、**森下達哉(東海大学工学部機械工学科)

1. はじめに

移動音源が生成する放射音の周波数変調を利用した音源の方向検知が検討されている¹⁾。音の反射や回折を無視できる音場においては方向検知が可能である²⁾。これに対して、放射音の伝搬経路上に障壁が存在する音場においては観測点に様々な方向から音波が伝搬することから、解析的手法ではなく数値計算を利用することが現実的である。

本研究では、障壁がおかれた空間における移動音源が生成する音場の特性を検討する。本報告では、移動音源が生成する放射音の伝搬経路上に障壁がおかれた音場の特性を検討する。

2. 数値計算モデル

Fig.1 に本稿における計算モデルを示す。解析領域を1辺10 mの正方形2次元空間とする。音源は直径40 mmの剛体円筒とし、周波数500 Hzの正弦波で駆動し、解析領域内を速度 $v=20$ [m/s]で直線移動する。音源が移動する直線を基準とし、0.5 m地点に障壁、3.5 m、6.5 m地点に、観測点1、2を設置する。

Fig.1 のモデルを用いて、領域を $\Delta x = \Delta y = 20$ [m]の格子で離散化し、時間刻みを $\Delta t = 5$ [μ s]とする。移動音源のモデル化に埋め込み境界法³⁾を適用し、領域周囲の吸収境界条件にPMLを設定する。

3. 観測点における放射音の周波数

観測点における移動音源による放射音の周波数変化は、式(1)で表されることが知られている⁴⁾。式(1)の計算結果とシミュレーション結果を比較する。Fig.1における障壁を設置しない場合の測定結果をFig.2(a)、障壁を設置した場合の測定結果をFig.2(b)にそれぞれ示す。観測点から音源が直接見通せる区間においてシミュ

$$f(t) = \frac{f_0}{1 - M^2} \left[1 - \frac{Mtv}{\sqrt{r^2(1 - M^2) + t^2r^2}} \right] \quad (1)$$

f : 観測される周波数, f_0 : 音源の周波数 v : 音源の移動速度

c : 音速, r : 音源が移動する直線状から観測点までの距離

t : 音源が観測点正面にきた時間を0[s]とした相対時間, $M = v/c$

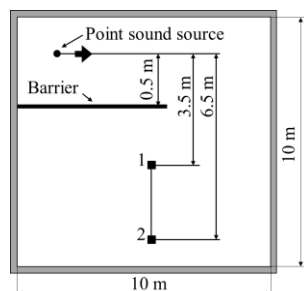
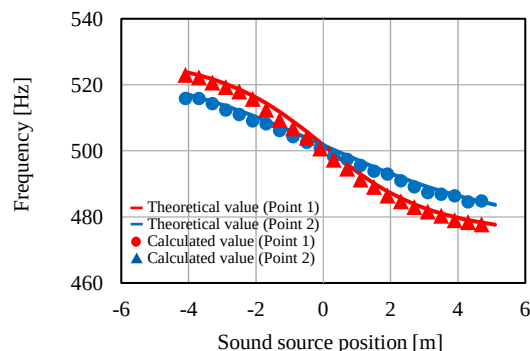
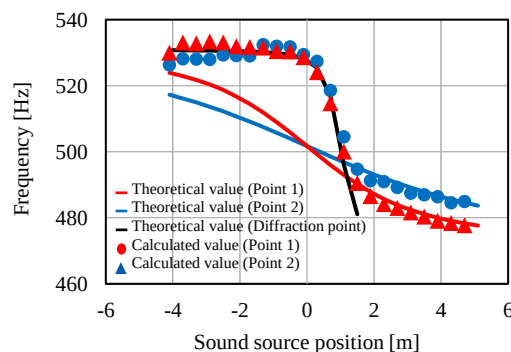


Fig. 1 A model for numerical simulation.

レーション結果と計算結果はおおむね一致していた。観測点から音源が直接見通せない区間においてシミュレーション結果は回折点である障壁先端部における周波数とほぼ一致した。



(a) Numerical result for observation point (without barrier).



(b) Numerical result for observation point (with barrier).

Fig. 2 Frequency modulation at the observation point.

4. まとめ

本稿では、移動音源が生成する放射音の伝搬経路上に障壁がおかれた音場の特性について検討した。結果として、観測点から音源を見通せる場合、周波数変化を再現可能である。また、観測点から音源を見通せない場合、回折点の周波数変化を再現可能である。今後は移動音源の振幅変調特性について検討する予定である。

参考文献

- 1 T. Doi, et al., Reports of the autumn meeting Acoust. Soc. Jpn., Vol.2, pp. 663-664 (1997)
- 2 H. Hoshino, Acoustical Science and Technology, Vol.62, No3, pp. 265-274 (2006)
- 3 K.J. Bathe, "Immersed boundary method", Springer (2020)
- 4 P. M. Morse and K. U. Ingard, "Theoretical Acoustics", Princeton Univ. Press, Chap. 11 (1986)

音振動連成を用いた圧電振動発電の発電特性(第2報: 両側加振時の発電特性)

*北澤 剣蔵(東海大学工学部精密工学科)、永谷 俊人(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、

土屋 明花(元東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、**土屋 寛太郎(機械工学専攻)、森山 裕幸(機械工学専攻)、

鈴木 隆ノ介(精密工学科)、中尾 僚(精密工学科)、武藤 俊一朗(精密工学科)

1. 緒言

現在、地球温暖化に伴い世界的に脱炭素社会に向けて環境発電を促進する動きがみられている^[1]。特に圧電素子を用いた振動発電は、環境発電において近年注目されている。

本研究では両側に同じ材料の端板を設置した円筒構造物に加振することによって発生する、音振動連成現象を利用した実験を行った^[2]。このとき、片側の端板のみを加振する片側円筒加振実験と両側の端板を同時に加振する両側円筒加振実験を行い比較した。

2. 実験方法

Fig.1 は両側円筒加振実験の概略図である。概略図の左側の端板を1、右側の端板を2と呼ぶ。本実験では、両端に厚さ2 [mm]のアルミニウム合金(以下、Alと呼称。)の端板を取り付けた円筒構造物を用いた。端板の中心から半径40%ずらした位置に加振器を設置し、パワーアンプで出力を増幅させて加振した。端板を加振する際、両側の端板の加振力を可能な限り同じ値かつ安定にするように加振した。またFFTが計測可能な電圧の数値は14 [V]であるため、これを最大値とした。

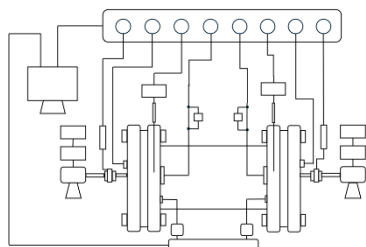


Fig.1 両側円筒加振実験概略図

筒長は、200 [mm]から2000 [mm]付近の間で100 [mm]ずつずらして計測した。また、音圧レベルが急激に増大している筒長帯では筒長を10 [mm]間隔で計測し、音圧レベルの最大値(以下、ピークと呼称。)を計測する。さらに筒長ごとに位相差を0 [deg]から180 [deg]の間に10 [deg]ずつ変化させ、筒長ごと音圧レベルのピークを計測した。なお、片側円筒加振実験においては端板1のみを加振した。

3. 実験結果及び考察

実験結果において片側円筒加振実験の端板1をs1、片側円筒加振実験の端板2をs2とする。また、両側円筒加振実験の端板1をd1、両側円筒加振実験の端板2をd2とする。

Fig.2 は両側円筒加振実験と片側円筒加振実験の筒長変化による音圧レベルの推移をそれぞれ示している。両実験とも音圧レベルのピークは760、1520 [mm]であることを確認できた。これにより両側円筒加振実験と片側円筒加振実験は同じ筒長域で、音圧レベルのピークが生じることが確認された。これは両実験とも同じ加振周波数で加振したため、同じ筒長帯でピークが発生すると考えられる。

Fig.3 は両側円筒加振実験と片側円筒加振実験の筒長変化による電圧の推移をそれぞれ示している。s1では音圧レベルのピークが生じている筒長帯で電圧が急激に減少していることを確認できた。s2では音圧レベルのピークが生じている筒長帯で電圧が増加していることを確認できた。d1ではs1と同じような傾向になったものの、全体的に電圧が2 [V]程度減少していることを確認できた。d2ではd1と同様に音圧レベルがピークになっている筒長帯で電圧が急激に減少しており、s2とは全く違う傾向が確認された。一方で、d2はs2と比べて2 [V]程度大きいことが確認できた。これらのことからd2が加振器による加振をしたことにより、d1から発生する電圧が減少したと考えられる。

両側円筒加振実験の音振動連成現象が促進されている筒長域と音圧レベルのピークの値が片側円筒加振実験とあまり変化がないことから、両実験の発電特性は同様であることが考えられる。

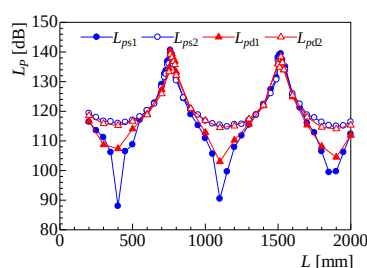


Fig.2 音圧レベルの推移

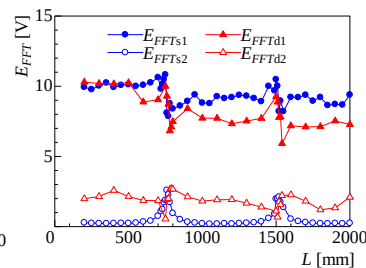


Fig.3 電圧レベルの推移

参考文献

- [1] IoT社会を支える自立電源技術：環境発電 多種多様なエネルギー変換技術で持続可能な社会の実現に貢献 竹内 敬治 株式会社NTTデータ経営研究所 <https://www.jsap.or.jp/columns/gx/s-4> (2024/07/01 閲覧)
- [2] 土屋寛太郎他 ‘連成現象による音・振動エネルギーの増幅効果’ 日本機械学会 2012 78 巻 786 号 pp.41-63

音振動連成を用いた圧電振動発電の発電特性（第1報：片側加振時の発電特性）

*中尾 僚（東海大学工学部精密工学科）、永谷 俊人（東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、土屋 明花（元東海大学大学院工学研究科機械工学専攻）、**土屋 寛太郎（機械工学専攻）、森山 裕幸（機械工学専攻）、北澤 剣蔵（精密工学科）、鈴木 隆ノ介（精密工学科）、武藤 俊一朗（精密工学科）

1. 緒言

近年、大気汚染などの環境問題を改善するため環境発電の分野が注目されている^[1]。この環境発電の一つに振動発電がある。振動発電とは機械や建物、人の動きによって生じる振動エネルギーを電気エネルギーに変換する発電方法のことである^[2]。しかし、振動発電は太陽光発電や風力発電に比べて得られるエネルギーが少ないという課題がある^[1]。この課題解決のため発電量増加を目的として音振動連成現象^[3]を利用した。

本研究では、音振動連成現象を利用した発電特性向上のために円筒の両端に円板を設置して片側から加振する片側円筒加振実験を行った。

2. 実験方法

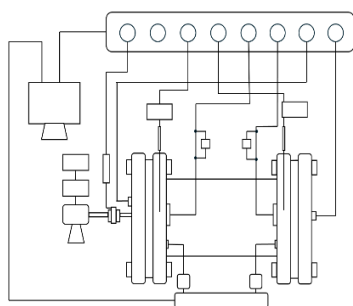


Fig.1 片側円筒加振実験概略図

Fig.1 に本実験の概略図を示す。円筒の両端に圧電素子とひずみゲージを貼付した端板を取り付ける。今回は有効内径 108 mm、厚さ 2 mm のアルミニウム合金製円板(以下、Al と呼称。)を用いて作成した端板で実験を行った。

加振位置は加振器を片側の端板の中心の位置で加振力を 1 N で加振させ実験を行った。この際、FFT が計測できる電圧の最大値である 14 V を上限とした。また、加振器の最大出力である 2 A を超えず、加振が安定している範囲で可能な限り 1 N に近づけて加振した。

筒長は、200 mm から 2100 mm まで 50 mm 間隔で伸ばし、音圧レベルが急激に増大した筒長域では音圧レベルの最大値(以下、ピークと呼称。)を得るために 10 mm ずつ計測を行う。

加振周波数は、加振側端板の固有振動数に設定した場合(加振側周波数、260 Hz)と非加振側端板の固有振動数に設定した場合(非加振側周波数、342.5 Hz)の 2 つの条件で実験を行った。

3. 実験結果及び考察

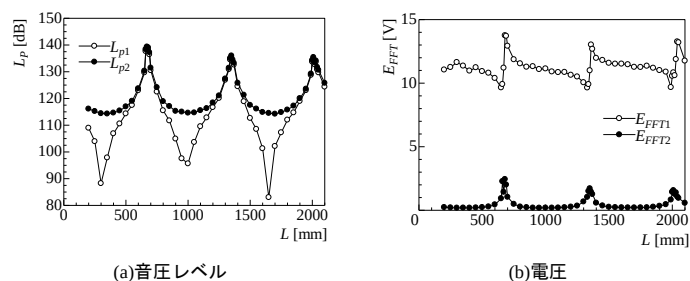


Fig.2 音圧レベルと発電特性の推移(加振側周波数)

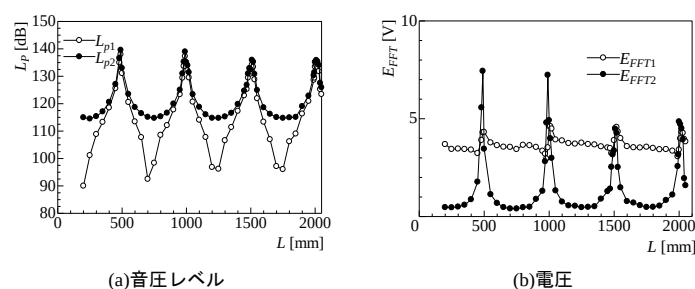


Fig.3 音圧レベルと発電特性の推移(非加振側周波数)

Fig.2 は加振側周波数での音圧レベルと発電特性の推移を、Fig.3 は非加振側周波数での音圧レベルと発電特性の推移を示している。このとき、下付き文字の 1 を加振側、2 を非加振側とする。Fig.2 より加振側周波数の加振側では音圧レベルのピーク時付近で電圧が減少することが確認できた。一方で、加振側周波数の非加振側では音圧レベルのピーク時付近で電圧が増加した。この結果から、音圧レベルが増大する筒長では音振動連成現象による端板振動の増大により、電圧が増加したと考えられる。

また、Fig.3 より非加振側周波数では加振側で音圧レベルのピーク付近で非加振側端板の電圧が加振側端板の電圧より大きくなっていることが確認できた。この結果から、非加振側周波数においても音圧レベルが増大する筒長では音振動連成現象による端板振動の増大により、電圧が増加したと考えられる。

4. 参考文献

- [1] Orbay 株式会社. “環境発電(エネルギーハーベスティング)とは？ - 環境発電の課題”. 2021-6-7. <https://orbray.com/magazine/archives/829>, (2024-9-19 閲覧).
- [2] Orbay 株式会社. “振動発電とは 原理と実用例を解説”. 2022-1-19. <https://orbray.com/magazine/archives/2610>, (2024-9-19 閲覧).
- [3] 土屋 寛太郎他. “円筒構造内の音響エネルギーを利用した振動発電システム”. 日本機械学会. 2014, pp.1-5.

点加振を用いた圧電振動発電の発電特性（第2報：加振位置に関する検討）

*武藤 俊一郎(東海大学工学部精密工学科)、永谷 俊人(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、土屋 明花(元東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、**土屋 寛太郎(機械工学専攻)、森山 裕幸(機械工学専攻)、北澤 剣蔵(精密工学科)、鈴木 隆ノ介(精密工学科)、中尾 僚(精密工学科)

緒言

近年、日本における電力不足が大きな懸念点として挙げられている。日本は火力発電や原子力発電などで電力を供給しているが、環境面に対して負荷がかかるなどのリスクや安定性が低いことが懸念点となっている。これらの発電方法の代わりとして、再生可能エネルギーの利用を目指す活動が促進している。その中の一つに振動発電がある。振動発電とは、機械や建物、人の動きなどにより発生する振動の微小なエネルギーを電気エネルギーに変換する発電方法である^[1]。しかし、発生する微量な振動では、大量の電力を供給させることが困難となっている^[2]。そこで、振動発電に圧電素子を利用することで、発電特性の向上が期待できる^[3]。本研究では、振動発電のさらなる実用化を目指すために、円板加振実験で点加振の加振位置を変化させることによって電圧にどのような影響を与えるかを調べた。

実験方法

Fig.1は本実験で使用した円板加振実験の概略図である。本実験では厚さ2mmのアルミニウム合金製円板(以下、Alと呼称。)を用いた。フランジにて円板を固定し、中心に圧電素子、ひずみゲージを貼り付ける。加振周波数は、100 Hzから2000 Hzまで50 Hzごとに上げ、電圧が急激に上がった周波数付近では10 Hzごとに測定を行う。このとき、加振器を円板の中心および20%ずらした位置、40%ずらした位置とそれぞれの加振位置での電圧の変化を調べる。また、円板の中心から60mmの位置にひずみゲージを、中心加振時では中心および中心から60mm離れた地点に加速度ピックアップを取り付け、20%ずらした位置、40%ずらした位置では円板の中心と加振器の設置位置付近に加速度ピックアップを取り付ける。

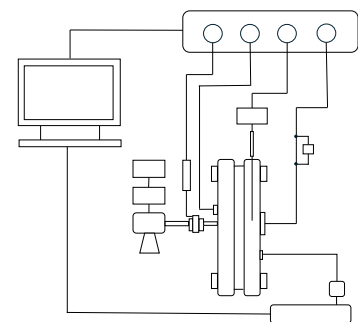


Fig.1 円板加振実験の概略図

実験結果及び考察

Fig.2はAlの周波数変化における電圧の推移である。中心は1000 Hzから1500 Hzの間で電圧のピークが高いことが確認できた。20%ずらした位置は1000 Hzから1500 Hzの間で電圧のピークが高いことが確認できた。40%ずらした位置は全体的に低い電圧となった。これらの結果より、中心、20%ずらした位置ともに1000 Hz以降で高い電圧のピークが生じることが確認できた。また、加振位置を中心から離していくほど電圧の増加量が小さくなることも確認できた。これは、圧電素子が中心に貼り付けられており、加振器が中心から離れていくごとに圧電素子に伝わる振動が減少するため、電圧の増加量が小さくなったと考えられる。

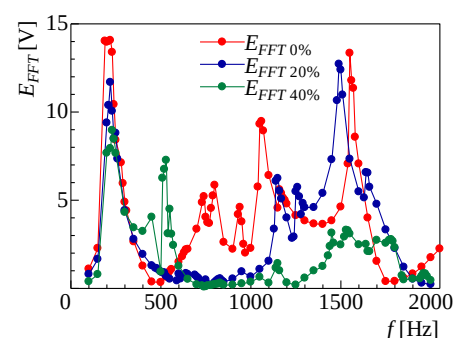


Fig.2 周波数変化における電圧の推移

参考文献

- [1] “振動発電とは 原理と実用例を解説”. 2022-01-19. [https://orbray.com/magazine/archives/2610\(2024/07/22 閲覧\)](https://orbray.com/magazine/archives/2610(2024/07/22%20閲覧))
- [2] “振動発電とは？どんなメリットがあるの？特徴や課題、4つの発電方式を解説”. 2024-05-15. [https://blog.ecoflow.com/jp/vibration-power-generation/\(2024/07/22 閲覧\)](https://blog.ecoflow.com/jp/vibration-power-generation/(2024/07/22%20閲覧))
- [3] 土屋 寛太郎他, “複数音場との連成を利用した圧電振動発電” 日本機械学会. 2019, 59, p.13-22.

点加振を用いた圧電振動発電の発電特性（第3報：モードに関する検討）

*永谷 俊人(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、土屋 明花(元東海大学大学院機械工学専攻)、**土屋 寛太郎(機械工学専攻)、森山 裕幸(機械工学専攻)、北澤 剣蔵(東海大学工学部精密工学科)、鈴木 隆ノ介(精密工学科)、中尾 僚(精密工学科)、武藤 俊一朗(精密工学科)

1. 緒言

現在、地球温暖化防止の観点から石油など化石燃料に依存せず再生可能エネルギーである太陽光や振動発電などの温室効果ガスを出さない環境発電が注目されている^[1]。その中でも筆者らは歩きや車の振動などを利用して生活によって生じる振動エネルギーなどで発電する振動発電^[2]に着目して研究した。本実験は、圧電素子を貼付した円板における振動発電において加振位置の変化による発電特性の比較を行った。

2. 実験方法

2.1 実験モデル解析

本研究では加振実験で用いる円板の中心付近に加速度ピックアップを貼付し、中心から同心円状の計 25 点のポイントをインパルスハンマでそれぞれ 10 回ずつ叩くことで円板の固有振動数を算出した。また、実験モデル解析で算出されたデータをもとに MEscope を用いて円板の振動モードの解析を行った。

2.2 円板加振実験

Fig.1 は本実験で用いた装置の概略図である。中心と中心から 60 mm の 2 箇所に加速度ピックアップを貼付した円板を設置し、加振器によって加振する。加振位置は円板の中心 (0%)、中心から半径 20% 及び 40% でそれぞれ行う。このとき加振力は 1 N で一定とし、1 N に到達する前に加振器の最大入力電流である 2 A に達した時は 2 A を上限とした。加振周波数は 100 Hz ~ 2000 Hz まで 50 Hz ずつ変化させて計測し、電圧が急激に増大したところは 10 Hz ずつ変化させて計測した。この際の円板には有効内径 108 mm、厚さ 2 mm のアルミニウム合金の板(以下、Al とする。)を用いた。中心の加速度を a_1 、中心から 60 mm の加速度を a_2 とする。

3. 実験結果及び考察

Fig.2 は周波数変化に対する加速度の推移を示している。Al 2 mm では 290 Hz と 1570 Hz で加速度が急激に増加したことを確認した。また、290 Hz では Al 2 mm の a_1 と a_2 に大きな差は確認できたのに対し、1570 Hz では a_1 と a_2 に大きな差が生じたことも確認した。

Fig.3 と Fig.4 は Al 2 mm 実験モデル解析における 350 Hz と 1445 Hz での円板の振動モードを示している。350 Hz では振動モードが(0,0)モードであることを確認した。1445 Hz では(0,1)モードであることを確認した。

実験モデル解析と円板加振実験では加振方法の違いによって固有振動数が異なるため、以上の結果から 290 Hz と 1570 Hz で加速度が増加したのは円板の固有振動数が加えられたことで振動が増大したため、加速度が増加したと考えられる。また、350 Hz で(0,0)モード、1445 Hz で(0,1)モードが確認されたことから 290 Hz では(0,0)モードで中心と中心から 60 mm の 2 か所の振動に大きな差がなかったのに対し、1570 Hz では(0,1)モードで中心と中心から 60 mm の 2 か所の振動に大きな差が生じたため加速度に差が生じたと考えられる。

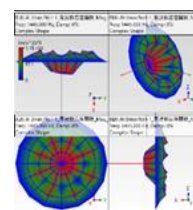
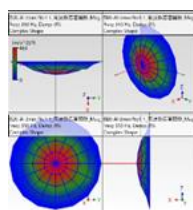
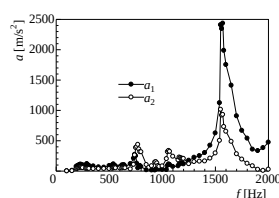


Fig.2 周波数変化に対する加速度の推移 Fig.3 350 Hz での円板の振動モード Fig.4 1445 Hz での円板の振動モード
参考文献

- [1] 環境にやさしい発電方法とは？これからの社会はどう変わる？<https://earthene.com/media/231>、(2024/10/1 確認)
[2] 振動発電とは <https://vibpower.w3.kanazawa-u.ac.jp/about.html>、(2024/10/1 確認)

点加振を用いた圧電振動発電円の発電（第1報：材料に関する検討）

*鈴木 隆ノ介(東海大学工学部精密工学科)、永谷 俊人(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、
土屋 明花(元東海大学大学院機械工学専攻) **土屋 寛太郎(機械工学専攻)、森山 裕幸(機械工学専攻)、
北澤 剣蔵(精密工学科)、中尾 僚(精密工学科)、武藤 俊一郎(精密工学科)

緒言

現在、温室効果ガスの排出・吸収を等しくするカーボンニュートラルは、世界中で注目されている。気候変動に伴い、豪雨や猛暑のリスクが更に高まることが予想され、農林水産業や水資源、自然生態系、健康、産業・経済活動等への影響が出ると指摘されている^[1]。振動発電とは、産業機器の振動や建造物の振動あるいは人体運動等の力学的エネルギーを電気エネルギーに変換する技術^[2]である。

しかし、振動発電は太陽光発電や風力発電、火力発電などに比べると得られるエネルギー量が少ないため、実用化されていない。また、装置の製造コストに対し、得られる電力量が小さすぎるという欠点がある。そこで、本研究では円板の加振に着目し、最適な発電特性を達成するための材料を明らかにすることで、振動を増幅させて発電特性の向上を目的とした円板加振実験を行った。

実験方法

Fig.1は円板加振実験の概略図である。実験に用いた円板は厚さ 2 mm の銅（以下、Cuと呼称。） 、アルミニウム合金（以下、Alと呼称。） ステンレス（以下、SUSと呼称。） である。円板加振実験とは、円板に振動を加えて振動から発生した音圧レベルや電圧などを測定して材料の発電特性を検討する実験である。加振器の最大入力電流である 2 A を超えず、加振が安定している範囲で可能な限り加振力を 1 N に近づけて加振した。円板加振実験は100 Hzから2000 Hzの間で測り、50 Hzずつ増やし、音圧レベルや加速度、電圧が急激に増大していると思われる所ではより正確な最大値を得るために 10 Hzずつ計測を行う。

実験結果及び考察

Fig.2 は円板加振実験で得られた周波数変化に対する電圧の推移を示している。これらの結果から Cu、Al、SUS の第 1 ピークは共に 230 Hz として生じている。また、

Cu は 800 Hz、1500 Hz、1900 Hz 付近で電圧が増加、

Al では 800 Hz、1100 Hz、1500 Hz 付近で電圧が増加、SUS では 700 Hz、800 Hz、1100 Hz、1400 Hz 付近で電圧が増加する傾向を確認できた。このとき、円板に加振力が伝播したことにより円板振動が増加し、加速度が増加したことで電圧が増加したと考えられる。次に、中心加振における電圧の最大値を確認すると Cu で 810 Hz で 14 V、Al では 1100 Hz で 12 V、SUS では 360 Hz で 14V 程度電圧が生じた。このとき、Cu は 700 Hz 付近で 14 V 程度電圧が生じているのに対して Al、SUS では 8V 程度電圧が生じた。一方で、1100 Hz、1500 Hz 付近では Al は 10 V～12 V、SUS は 9 V～10 V 程度電圧が生じているのに対して Cu は 1 V～4 V 程度しか電圧が生じていない。この原因は加振位置が中心で圧電素子に伝わる加振力が減衰したため、電圧が減少したと考えられる。

以上の結果から発電特性が優れている材料はアルミニウム合金（Al）であると考えられる。

参考文献

[1] 再生可能エネルギーを使った発電方法 | カーボンニュートラルを目指して

[https://orbray.com/magazine/archives/6446\(2024/07/22\)](https://orbray.com/magazine/archives/6446(2024/07/22)) 閲覧日

[2] 用語解説 _第114 回テーマ：振動発電

[https://www.iee.jp/pes/termb_114/\(2024/07/22\)](https://www.iee.jp/pes/termb_114/(2024/07/22)) 閲覧日

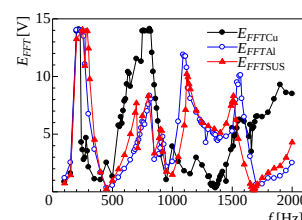
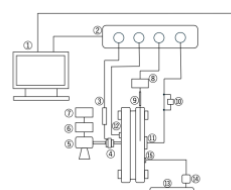


Fig.1 円板加振実験概略図 Fig.2 周波数変化に対する電圧の推移

画像相関法による足関節骨折モデルの創外固定ピン刺入部近傍のひずみ測定

* 西郷恵達(東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻)、村山夢奈(東海大学工学部医用生体工学科)、

小林由香(東海大学八王子病院整形外科)、齋藤育雄(伊勢原協同病院整形外科)、

**菊川久夫(東海大学工学部医工学科)

1. 研究の背景と目的

足関節閉鎖骨折の治療では、一時的に創外固定（金属フレームと固定ピン）を行い、骨折による腫脹や外傷による水疱形成など、軟部組織の状態が改善してから二次的に内固定を行う場合がある^[1]。創外固定は骨に外部から金属ピンを刺入するため、金属-骨組織間の緩み（ずれ）は、骨折部の安定性を低下させかねない。そのためピン刺入部における骨表面の応力やひずみ分布は、創外固定の安定性の指標となり得る。

Wahab^[2]らは、有限要素法を用いて3つの創外固定もでる、すなわち、平行法、十字法、ならびにクロス法について、圧縮力、曲げ、ねじりのさまざまな外力によって固定ピン刺入部周囲に生じる応力分布を比較・検討している。有限要素法を用いた同様な研究は Ramlee^[3]らによっても行われているが、創外固定足関節モデルが複雑な構造であるがゆえに、この手法によるモデルの構築には難しい部分がある。

本研究では、ヒト足関節を用いて、ピン刺入部近傍のひずみ分布の可視化を目的とする。ヒト足関節を用いるため、ひずみの可視化には非接触で測定が実現できるデジタル画像相関法（DIC）の使用を計画している。今回我々は、十字法を適用した骨模型を使用し、固定ピン刺入部近傍のひずみ分布を測定し、本手法によるひずみ測定の妥当性について考察・検討を行ない、DICによるひずみ測定の可能性を模索した。

2. 実験方法

図1は今回作製した十字法創外固定モデルで、骨模型に創外固定を施して作製した。図2は踵骨ピン刺入部の拡大写真で、骨表面には黒色と白色のラッカーブレーにより、画像相関法によるひずみ解析に必要なランダムドットパターンを塗布した。

骨模型の足関節を徒手的に背側に屈曲させるように負荷（約25 N）を加え、このときの踵骨ピン刺入部近傍を2台の高速度カメラ（k7-USB High Speed Camera, KATO KOKEN）と撮影ソフトウェア（k7-Software, Ver.1.6.3.6, KATO KOKEN）を用いて画像の取得を行った。次に撮影した動画に対して、画像相関法解析ソフトウェア（Dipp-Strain, Ver.1.4.0.0, DITECT）を用いてピン刺入部近傍のひずみ解析を行った。

3. 実験結果および考察

図3には、図2の画像上に設定した解析領域とこの解析領域上に表示した微小ひずみ理論に対する主ひずみ分布を示す。主ひずみはピン刺入部近傍で高い値を、骨模型部分で低い値を示した。主ひずみの最大値は骨模型部分と固定ピンの境界近傍で生じ、およそ2.2 %であった。

今回の実験では一定の負荷を加えることができず、足底部に徒手的に荷重を加えたため、主ひずみ値の妥当性を検討するには至らなかった。しかし、測定領域内で連続したひずみ分布が確認されたため、今後の解析結果の蓄積と表面に塗布するランダムドットのパターンの密度やサイズの工夫により、ひずみの測定精度が向上できると期待している。今後は、平行法、十字法、ならびにクロス法の固定性を検討するため、一定の負荷を実現できる負荷機構の考案が急がれる。

参考文献

- [1] 緒方亜紀, 竹内直英, 永野 賢, 酒見勇太, 田邊 剛: 閉鎖性足関節骨折に対して創外固定術を用いた二次的手術の治療経験. 整形外科と災害外科, 72(4), 691-694, (2023).
- [2] Wahab, A. H. A., Wui, N. B., Kadir, M. R. A., & Ramlee, M. H. : Biomechanical evaluation of three different configurations of external fixators for treating distal third tibia fracture, Finite element analysis in axial, bending and torsion load, Computers in Biology and Medicine, 127, (2020).
- [3] Ramlee, M. H., Kadir, M. R. A., Murali, M. R., & Kamarul, T. : Finite element analysis of three commonly used external fixation devices for treating Type III pilon fractures, Medical engineering & physics, 36(10), 1322-1330, (2014).

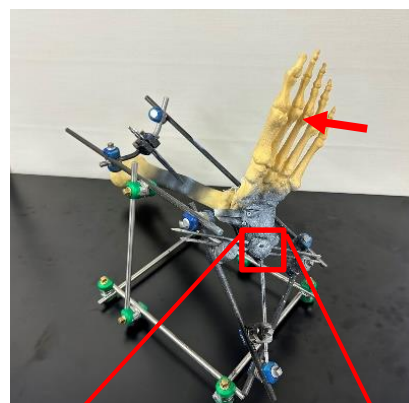


図1 十字法創外固定モデル

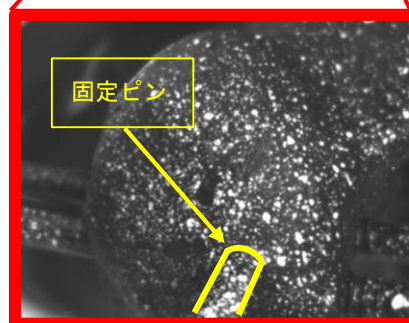


図2 踵骨ピン刺入部の拡大写真

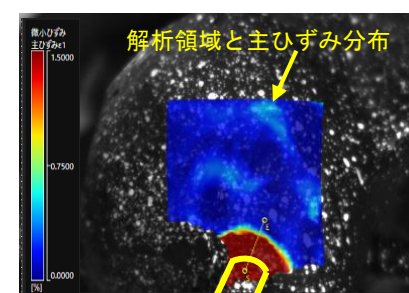


図3 解析結果(主ひずみ分布)

Basic Voice Command And Automation Controlled Robotic Car

* Ahmed (Tokai University, School of Engineering, Department of Precision Engineering)

Yoshida Masaki (Tokai University, Graduate School of Engineering, Department of Mechanical Engineering)

Nagatani Toshihito (Tokai University, Graduate School of Engineering, Department of Mechanical Engineering)

Tsuchiya Kantaro (Tokai University, School of Engineering, Department of Precision Engineering)

1. Background and Objectives

To build a robotic car that is aware of obstacles when driving automatically, and is capable of responding to voice commands.

2. Method

robotic car programmed using Arduino code. Uses ultrasonic sensors for the automatic mode, and EasyVR shield for the voice recognition logic.

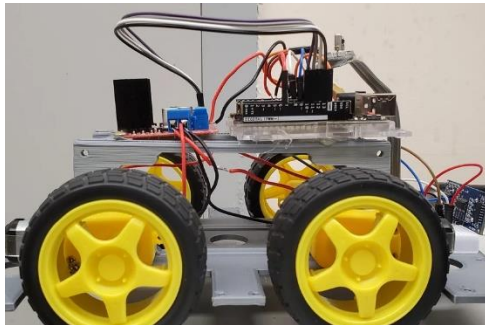


Fig. 1 car example <https://www.instructables.com/4-Wheel-Car-With-IR-Control-Optional-Ultrasonic-Sen/>

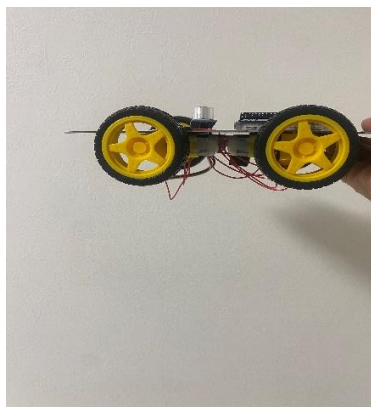


Fig. 2 in-progress robotic car

3. Experimental Results

The car is halfway built and the code runs well with no errors but I have yet not tried it on the car. It gives out the output that the EasyVR is not detected as is programmed since I don't have it in my possession yet. The desired result is for the car able to detect obstacles within the programmed safe distance, then change direction. Also to be able to understand voice commands and proceed with the programmed action. Currently installed are motors, L298N motor driver module to control the speed and direction of the DC motors, and The Arduino board as the central controller.

4. Observations

At present, there are no significant observations, not until the car is fully assembled and I am able to run the code on it. Figure 1 shows the an estimate of what the finished product will be while figure 2 is the current progress.

5. Conclusion

The plan is to work towards completing the project, proceed with having a clear understanding of the issues at hand and work to fixing them. The schedule is to finish building the car within the next month, and start experimenting with the automation and voice controlled mode in the month after.

化学プロセスシミュレーションを用いたC-H-O反応系に対する化学反応条件の最適化

*小池鷹生(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)、原田亮(東海大学工学部機械工学科)、

**内田ヘルムート貴大(東海大学大学院工学研究科機械工学専攻)

1. 目的と背景

本研究では、C(炭素)、H(水素)、O(酸素)からなる化学種を基にした反応系におけるシミュレーションの実践を通し、化学工業における簡便かつ低コストであるシミュレーション手法の有用性を示すことを目的とする。このような水性ガスシフト反応や Sabatier 反応を含む系は持続可能なエネルギー技術の中でも重要な地位を占めており、特に水素エネルギーを利用した温室効果ガスの削減や代替燃料合成のためのプロセスとして注目を集めている。しかしながら、これらの反応は全圧、各化学種の分圧、温度などの複数のパラメータに依存するため、解析的に最適条件を示すことが困難である。そのため、従来は効率的な反応条件の最適化のためには膨大な組み合わせを試す実験的アプローチが必要とされてきた。

そこで本研究では化学工学的プロセスシミュレーションの標準規格である CAPE-OPEN 仕様にに基づいたシミュレーション環境である COCO (CAPE-OPEN to CAPE-OPEN) や反応系モデリングライブラリを含む ChemSep を利用し、特定条件下における平衡状態のシミュレーションを実施した。これによって、実験的アプローチに比べ大幅に効率化された最適化手法の確立を目指した。

2. 分析手法

COCO 内部に実装されている Parametric Study 機能を用い、複数のパラメータを走査することによって特定化学種の合成に適した環境が推定できることを示した。

具体的には反応後の組成における自由エネルギーが最小となるように成分比を決定する Gibbs Reactor を対象とし、 H_2O と CO を物質質量比 0.5:0.5 で含む 5 MPa の混合気体を 1 mol/s で Gibbs Reactor に流入させた場合の平衡状態を対象として温度を変えながら処理を行った。

この計算においては副生成物の条件としてそれぞれ 1. CO_2 , H_2 , CH_4 、2. CO_2 , H_2 , CH_4 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 、3. CO_2 , H_2 , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ のみが発生する系を考えるものとした。

3. 結果と考察

条件 1 における温度-出力モル流量のグラフを Fig. 1 に示す。 CH_4 は 600 °C 程度までの環境であれば一定割合が生成されるが、より高温となるとその生成率は減少し、かわりに H_2 と CO の割合が増加する。

また、条件 1 と条件 2 の比較により、 CH_4 が発生しうる反応系においては $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ の合成はほぼ行われなことが示された。また、条件 1 と条件 3 の比較により CH_4 に比べ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ がより反応の温度依存性が高く、反応速度を高めるために高活性の触媒が必要となることが示唆された。

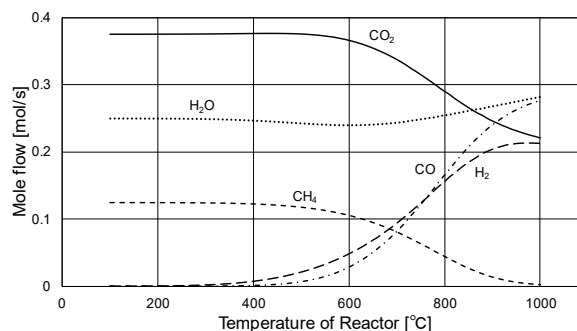


Fig. 1 条件 1 におけるギブスリアクター出力

4. 結論

本研究で示された走査型分析、自動化手法、グラフィカル表示技術は、より複雑な化学プロセスの設計や最適化のためにも広く応用可能なアプローチである。一方でこれらの計算は平衡状態に対してのものであり、触媒反応などを含んだ時間的パラメータを考慮していないため、より実際の環境に近づけるためにはさらなるパラメータの追加が必要となることに注意が必要である。しかしながら本研究で得られた C-H-O 反応系における最適化に関する新しい知見は今後の研究や産業界におけるシミュレーションのさらなる利用と効率化に繋がる指針を提供するものであり、特に温室効果ガスの削減や代替燃料合成のプロセスに関連する技術への活用が期待される。

参考文献

- ¹ Kooijman, Harry A., and Ross Taylor, The ChemSep book. Norderstedt, Germany: Books on Demand, 2017 (accessed 2024-10-04).
- ² 伊東章 著ほか, 例題で学ぶ化学プロセスシミュレータ : フリーシミュレータ COCO/ChemSep と Excel による解法, コロナ社, 2018.

PHOTOTHERMOELECTRIC POWER GENERATION IN SINGLE-WALLED CARBON NANOTUBE DEVICES WITH PARTIAL COLORED COATINGS UNDER SUNLIGHT IRRADIATION

*奥津玲音(東海大学 工学研究科 応用理化学専攻)、**高尻雅之(工学部 応用化学学科)

[緒言]

近年、CPS/IoT (Cyber-Physical-System/Internet-of-Things) の実現が注目されており、屋外で利用できる独立電源の需要が高まっています。そのような独立電源の候補の 1 つとして熱電発電があります。熱電発電は、熱電変換材料に温度差を与えることで発電するという原理です。熱電変換材料の一つである単層カーボンナノチューブ (SWCNT) は、室温付近で高性能かつ小型化が実現できることから注目されているが、温度差を生じさせる熱源がないと発電できない。熱源には加熱装置や冷却装置を用いることで安定的に大きな発電量を得ることができるが、装置駆動のための温室効果ガスの排出などの観点から近年のカーボンニュートラル社会へ移行するという世界課題において相応しくない。この問題の解決策の一つとして、我々は色差熱電発電 CNT デバイスを考案した。このデバイスは太陽光などの光によるクリーンな光・熱エネルギーを利用して温度差を設け熱電発電するという機構である。本研究では、色ごとに光や熱の吸収率が異なるという性質に着目し、デバイスに色差を与えることで温度差を大きくし、出力電圧を向上させることを目指した。

[実験方法]

SWCNT 粉末をエタノールに超音波分散させて CNT 溶液を作製し、これを真空濾過して CNT 膜 (Bucky Paper : BP) を作製した。4 枚の BP を切り出し、ポリイミドフィルムに貼り付けた。4 枚の BP を銅線と銀ペーストで直列に接続し、各 BP の半分を着色塗料で覆って色差熱電発電装置を作製した。図 1 に作製した白色インクで被覆したデバイスを示す。測定環境は実際の太陽光環境を再現するため、人工太陽光下での出力電圧を測定し、サーモグラフィーで温度分布を確認した。

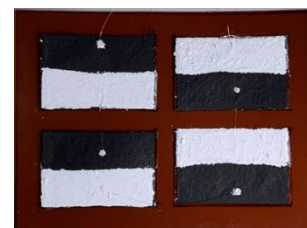


図 1.白色で被覆したデバイス

[実験結果・考察]

図 2 は実際の測定風景である。図 3 に示すように、デバイスは約 1.3 mV の出力電圧を生成した。これらの結果は、非常に低コストでシンプルな白インクコーティング方法で、明確な温度差を作り出し、出力電圧を生成できることを示している。更に、他の色で被覆したものと比較検討し出力電圧と温度分布の観点から、色差による発電量の差異を明らかにする。

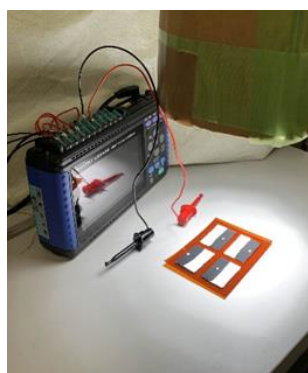


図 2.実際の測定風景

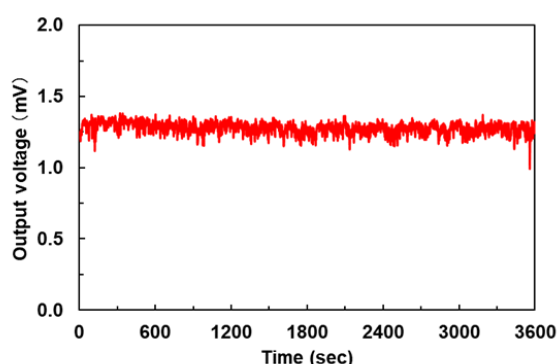


図 3.白色インクで被覆したデバイスの出力電圧

[参考文献]

- [1] T. Chiba, Y. Amma, M. Takashiri, Sci Rep., 11 (2021) 14707.
- [2] X. Li, J. Peoples, P. Yao, X. Ruan, ACS Appl. Mater. Interfaces 13 (2021) 21733.

核融合ダイバータ模擬装置でのイオン温度に対する非接触プラズマの特性

*平明泰(東海大学理学部物理学科)、岡田尚徳(東海大学理学研究科物理学専攻)、**利根川昭(東海大学理学部物理学科)、夏目祥揮(東海大学 国際原子力研究所)

1. 背景, 目的

核融合装置には核融合反応で発生した炉心プラズマの燃料灰(He)の排気をする装置としてダイバータが設置されている。炉心プラズマから流出した高温プラズマは、磁力線に沿ってダイバータ板へと流入するため、ダイバータ板の熱損傷が課題となっている。この解決策として、中性粒子とプラズマの衝突過程を増大させることで、プラズマのエネルギーを低減する「非接触プラズマ」が提案されている。国際熱核融合炉(ITER)では、非接触プラズマを採用する予定であるが、詳細な非接触プラズマの理解には未だ至っていない。そのため、非接触プラズマの基礎研究は、多くの直線型模擬装置で実施されている。しかし、直線型模擬装置で生成される殆どのプラズマでは、イオン温度が電子温度($\sim 10\text{eV}$)と比較して $\sim$ 数eVと低く、核融合炉ダイバータ領域の電子温度($\sim 10\text{eV}$)とイオン温度($10\sim 20\text{eV}$)のプラズマ状態を模擬することができていない。

本研究では、直線型ダイバータ模擬装置TPDs-sheet-Uで生成した高密度シートプラズマにイオンサイクロトロン共鳴(ICR)加熱を行い、イオン温度を変化させた時の非接触プラズマ形成過程を明らかにすることを目的とする。

2. 実験装置及び方法

図1に直線型ダイバータ模擬装置TPDs-sheet-Uの全体図を示す。放電領域(Discharge region)で生成された高密度の水素シートプラズマ($\sim 10^{19}\text{m}^{-3}$)を0 $\sim$ 500WのICR加熱を行い(0WはICR加熱をしていない)、イオン温度を数eVから8eV程度まで増加した。下流領域から水素接触ガス(H_2 secondary gas)を導入して、ガス圧力を増加させることで、非接触プラズマを生成している[1]。磁場が発散している。

下流領域において1つの視野を4分岐にし、各視野に異なる光学フィルタを備えた光学系(Arbaaプリズム)を備えた高速度カメラを用いて、プラズマからバルマー系列(H_α , H_β , H_γ)の発光強度を2次元計測した。また、プローブ計測により電子密度・温度、反磁性コイルにより蓄積エネルギー(イオン温度)を測定した。

3. 実験結果及び考察

図2は、ICR加熱を行っていないときにおける、下流領域でのガス圧力変化に対する発光強度計測値である。ガス圧を増加させると、0.7から0.8Pa付近でターゲットが設置されている下流領域全体で H_α 以外に H_β と H_γ が観測され、非接触プラズマが生成されている。さらにガス圧を増加させると、これらの発光はターゲットから離れて上流領域に移動していることがわかる。ICR加熱を実施した実験結果については発表時に報告する。

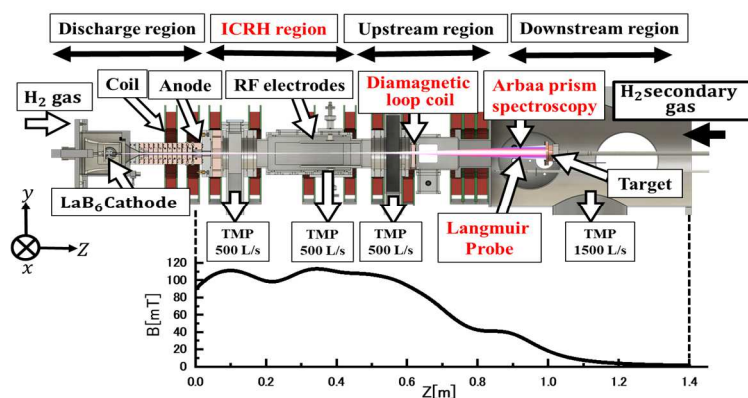


図1 ICR加熱部を設置した直線型ダイバータ模擬装置(TPDs-sheet-U)の概念図

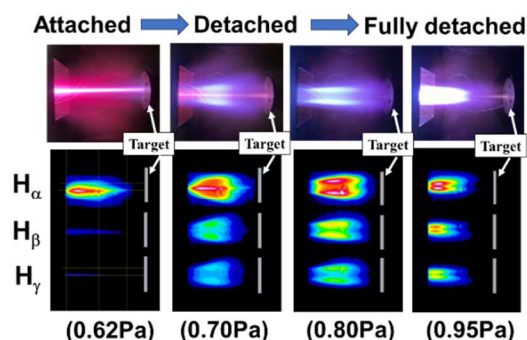


図2 ガス圧力の変化に対する2次元発光強度分布(H_α , H_β , H_γ)

参考文献 [1] 1) N.Okada, et al, Fusion Eng. & Des, 192 (2023) 113596.

中性子反射率法によるアモルファス二硫化ゲルマニウムへの銀のフォトドーピングの解析

*原竜弥(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、坂口佳史(GROSS)、村上佳久(筑波技術大学)、**渋谷猛久(東海大学理工系教育センター)

1. 背景, 目的

フォトドーピングとは非晶質カルコゲナイド薄膜と金属との二層膜にカルコゲナイドの吸収端近傍の光を照射することで金属が非晶質中へ異常拡散する現象のことを言う。金属が拡散したドーブ層では、光学的、電気的物性の変化が大きく、光学素子や光学的情報記録への応用が期待されている。一方これらの性質を利用するには再現性、安定性といった多くの問題を抱えている。

これまで本研究室ではカルコゲナイドとして二硫化ゲルマニウム(GeS_2)、金属として銀(Ag)の組み合わせの試料に関して研究を進めてきた¹⁻³⁾。本研究では埋もれた界面における銀の拡散過程を中性子反射率法で調べたことを目的とした。

2. 方法

真空蒸着装置を用いて Si ウエハー上に GeS_2 を成膜した。 GeS_2 の成膜後、一度大気に出し、チューブ炉にてアルゴン雰囲気中でアニール処理を 2 時間行うもの(アニール有り)、もう一つはアニール処理を行わないもの(アニール無し)を用意した。それぞれの試料に Ag を成膜した。この他に GeS_2 成膜後、試料を大気に出すことなく Ag を成膜(連続成膜)し、計 3 種類の試料を準備した。 GeS_2 の膜厚は 200 nm, Ag の膜厚は 30 nm とした。

フォトドーピングは中心波長 408 nm、半値全幅 11 nm の LED 光源を用い、試料位置で 27 mm × 27 mm の大きさとなるようにした。この位置で照射光強度は、110 mW/cm² である。中性子反射率(NR)は中性子のパルスビームが発生してから検出器に到達するまでの時間を計測する Time-Of-Flight 法を用いることによって、入射角を固定したまま波長依存性を計測した。光照射時間はどの試料も 30 分とした。

3. 実験結果及び考察

アニール無しの試料における測定結果を Fig. 1 に示す。光照射時間に対する NR スペクトルを黒線で、フィッティングの結果を赤線で示す。NR のフィッティング解析から得られた散乱長密度(SLD)の膜厚方向のプロファイルを Fig. 2 に示す。アニール無しの試料の場合、光照射を行う前から反応層の形成が確認できた。これは、銀を成膜する際に生じる熱によって反応が促進されたと考えられる。光照射を約 2 分行くと SLD が二硫化ゲルマニウムより小さい、ディップの様な中間層が形成されていることがわかった。この層では、中性子の鏡面反射を妨げるようなもので構成されており、見かけ上 SLD が非常に小さい値を取っていると考えられる。光を照射すると銀の膜厚が減少していき、光照射を約 7 分行くと表面の銀が完全に消失した。十分に光を照射する

と銀は一緒に拡散し、単一層になると思われたが、SLD が低下するとともに、膜の表面近傍に酸化層のようなものが形成されたと考えられる。

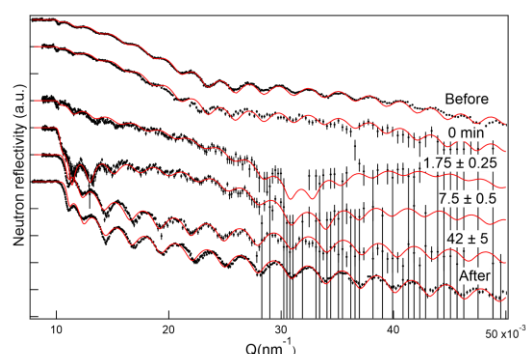


Fig. 1 Neutron reflectivity and fitting curve of non-annealed sample.

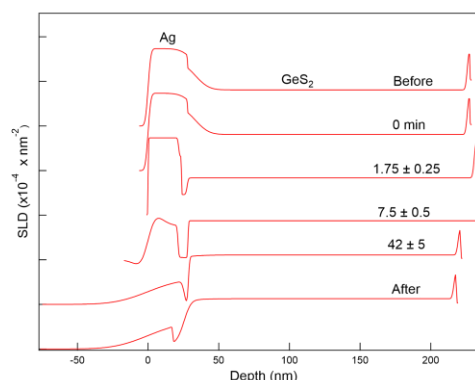


Fig. 2 SLD profile of non-annealed sample.

4. 結論

アニール無しの試料に対する Ag のフォトドーピングにおいては、中性子の散乱を助長するような中間層が薄膜内部に形成されている可能性が明らかになった。また、長時間ハイパワーの光を照射することにより表面に酸化層が形成されたものと考えられる。その他の試料についての解析結果は当日報告する。

参考文献

- 1) 村上佳久他, 東海大学紀要工学部, Vol. 48, (2008), pp. 33-40.
- 2) 渋谷猛久他, 第 80 回応用物理学会秋季学術講演会, 18a-E205-1, (2019).
- 3) 能登勇真他, 東海大学紀要工学部 Vol. 63, pp. 1-6 (2023).

非 Cs 型負イオン源での水素吸蔵材料を用いた負イオン生成への影響

*中山大輝(東海大学理学部物理学科)、高柳光希(東海大学理学部物理学科)、三浦海人(東海大学理学研究科)、岡田尚徳(東海大学総合理工学研究科)、夏目祥揮(東海大学国際原子力研究所)、佐藤浩之助(東海大学、九州大学)、**利根川昭(東海大学理学部物理学科)

1. 背景, 目的

核融合発電を実現させるには、密度が 10^{-20} m^{-3} で温度が 1 億度以上のプラズマを 1 秒以上維持する必要がある。プラズマを加熱する方法の一つとして中性粒子ビーム入射 (NBI: Neutral Beam Injection) 加熱が採用されている。NBI 加熱における負イオン源の多くは、セシウム (Cs) を使用して負イオンを生成する表面生成法が用いられている。しかし、Cs 蒸気が絶縁部に付着することで起こる絶縁破壊や Cs が真空容器内に堆積するなどの課題が存在し、長時間の連続運転が困難であり、将来的には Cs を用いない負イオン源の開発が必要である。

本研究室では、直線型プラズマ生成装置 TPDsheet-U を用いて、非 Cs 型負イオン源の開発を行っている[1]。本実験装置で生成されるシート状プラズマはプラズマ中心からプラズマ周辺部にかけて急激な電子温度勾配を有している。そのため解離性付着により効率よく負イオンを生成することができる。その結果、Cs を用いずに高密度の負イオン生成が可能となっている。しかし、核融合実験炉 ITER で用いられる Cs 型負イオン源の負イオン電流密度と比較すると、本研究室の非 Cs 型負イオン源の電流密度は、Cs 型負イオン源の電流密度と比較して 1/4 程度低く、更なる負イオンの高密度化を目指す必要がある。そこで、本研究では、プラズマ周辺部で水素吸蔵材料をジュール加熱することで、材料表面から放出される振動励起分子と熱電子を制御し、更なる負イオン電流密度の向上を目的とする。

2. 実験方法

非 Cs 型負イオン源 TPDsheet-U が生成する水素シート状プラズマの周辺部に設置したフィラメント (Electron emitter)、に流れる電流値とバイアス電圧値を変化させることで、熱電子の放出量とエネルギーを制御する (図 1 参照)。フィラメントの下流側で正の電圧を印加することで負イオンを引き出し、負イオン電流を測定した (図 2 の Extraction system)。フィラメント材料には、水素吸蔵材料でかつ仕事関数が低いタングステン (W) やタンタル (Ta) を用いた。

3. 実験結果

外部磁場 0.08T、放電電流 70A、ガス圧力 0.3Pa において、W フィラメントでは、フィラメントのバイアス電圧が約 -20V の時に負イオン電流密度が最大となった。一方で、Ta フィラメントではバイアス電圧が約 -2~6V で負イオン電流密度は最大値を示した。

4. 考察と結論

W フィラメントでは、負イオン電流密度特性が水素分子の振動温度特性と同じ傾向を示している。一方、Ta フィラメントでは、解離性付着の反応速度係数の特性と同じ傾向を示し表面温度が 800°C の時にバイアス電圧が数 V の時に最大となっている。このことから Ta フィラメントから放出された振動励起分子と熱電子放出された低エネルギー電子とが解離性付着により、負イオンが生成されていることを示唆する。

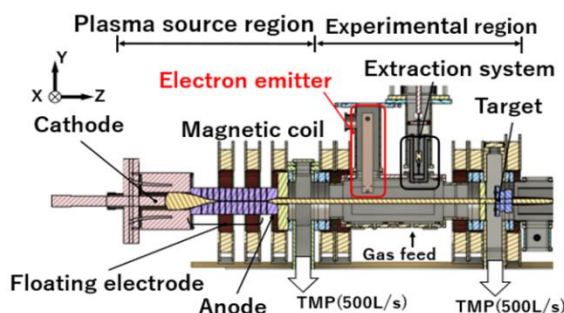


図1 直線型プラズマ生成装置 TPDsheet-U を用いた非Cs型負イオン源の概要

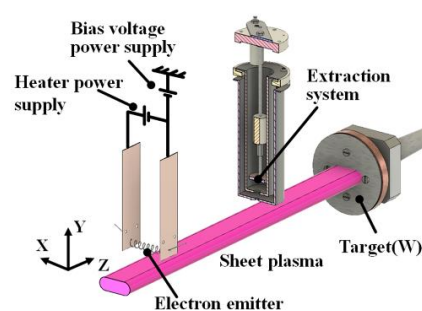


図2 電子エミッターと引き出し電極部の概念図

参考文献 [1] A. Tonegawa, *et. Al.*, Nucl. Fusion **61** (2021) 106030.

モルック競技における気分変化と自律神経系への影響

*齋藤優汰（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、木原旭陽（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、尾島早紀（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、安藝史崇（東海大学 工学部 医工学科）**木村達洋（東海大学 文理融合学部 人間情報工学科）

1. はじめに

「モルック」とは、木の棒を投げて倒れたスキットルの内容によって得点が 50 点ピッタリになった方が勝ちというシンプルなルールであり、老若男女問わず楽しめるゲームである。本研究では、モルック競技前後での気分変化と自律神経系の解析を行った

2. HRV とは

一定間隔で鼓動しているように見える心拍は、常に揺らぎを生じている。この揺らぎの周波数解析を行ったものが HRV（Heart Rate Variability）で、の揺らぎは自律神経系の活動による影響であり、これを解析することで自律神経系の活動状態を推定することが可能である。周波数解析による低周波成分 0.04 - 0.15 Hz を LF、高周波成分 0.15 - 0.4 Hz を HF としたとき、HF 成分は副交感神経の活動指標、LF/HF 成分は交感神経の活動指標となる。

3. POMS2 とは

POMS2 とは気分、感情、情緒などの主観的側面からの気分の状態を計測するアンケート調査である。因子に関する質問項目に対して 5 件法で回答を求め、ネガティブな気分状態を総合的に表すことができる。

4. 実験方法

過度な緊張状態を避けた状態の健常被験者 8 名を対象とした。実験は、モルックをプレイする前後で POMS2、心電図を計測した。プレイ後は運動そのものによる心拍の変動を避けるため、5 分程度の休憩をとった後に計測した。得られた心電図より第 2 項で示した方法で自律神経系の評価を行った。

5. 実験結果

5-1 POMS2

Fig.1 に本研究で得られたネガティブな気分状態を総合的に表す「TMD 得点 = (AH+CB+DD+FI+TA) - VA」を示した。全被験者がモルック後にはネガティブな気分が少なくなったことが示された。これは、モルックを行うことで怒りや敵意、不安が消え、活力や活気が向上したと考えられる。

5-2HRV 解析

Fig.2 には心電図を計測した 7 名の HF と LF/HF の結果を示した。7 名中 4 名はモルック後に副交感神経の活動が低下もしくはほぼ変化がなく交感神経の活動が亢進した。本研究ではモルックをプレイすることによって興奮したと考えられる。

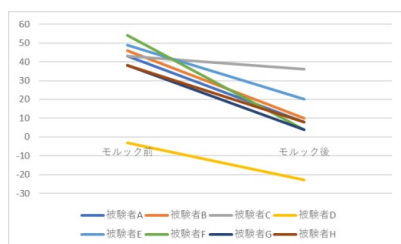


Fig.1 TMD の変化

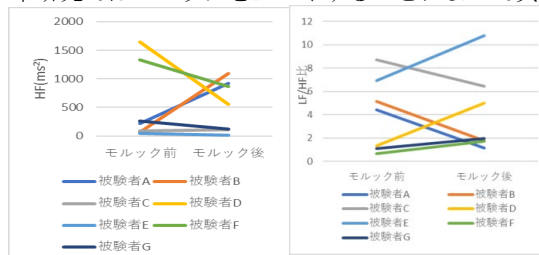


Fig.2 HRV の変化 (左: HF 右: LF/HF)

4. 考察

本研究ではモルックプレイ前後での気分変化と自律神経系の評価を行った。POMS2 と HRV の変動には明確な相関は認められず、気分変化は良くなっているが、HF が上昇している被験者も LF/HF が上昇している被験者もあり、気分変化は全被験者においてネガティブ気分が減少していた。LF/HF の上昇は、精神的ストレスの増加と捉えられることもあるが、スポーツ競技において適度な緊張が必要とされ、本研究でもこの緊張感が現れたと考えられる。しかし、POMS2 の結果と比較すると、被験者にとって有害なストレスではないことが推測された。

参考文献

高田 晴子、高田 幹夫、金山 愛 心拍変動周波数解析の LF 成分・HF 成分と心拍変動係数の意義、総合健診、32 巻 6 号 (2005)

自律神経系評価を用いた主観的時間に関する研究

*鬼塚皓己（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、遠藤凌（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、熊本真大（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、安藝 史崇（東海大学 工学部 医工学科）、**木村 達洋（東海大学 文理融合学部 人間情報工学科）

1. はじめに

ヒトの時間感覚は置かれた環境により変化が生じる。例えば楽しい時間ほど短時間に感じ、退屈な時間はより長く感じる経験的に分かっている。また、自律神経とは興奮時には交感神経、安静時には副交感神経が関連していることが知られており、自律神経の活動と時間感覚は関連していることが考えられる。

本研究では主観的な時間経過感覚の異なる、安静時とゲーム遂行（テトリス）条件を用いて、自律神経系の活動について検討を行った。

2. 実験

2.1 実験方法

被験者は健康男子大学生（19～22 歳）6 名とした。心電図は PowerLab 生体信号測定システム（ADINSTRUMENT 社製）を用いて記録した。実験条件は、各個人の（1）安静時の状態（2）テトリスを行っている時の状態の 2 つの条件下で各 5 分間記録した。また、その時の時間感覚において、どちらが長く感じたか、もしくは同程度に感じたかについてアンケート調査を行った。

2.2 解析方法

本研究では、得られた心電図より R 波を検出し R-R 間隔系列のスペクトル解析を行った。このスペクトルより、高周波成分 HF を (0.15Hz～0.40Hz)、低周波成分 LF を (0.05Hz～0.15Hz) としたとき、HF は副交感神経の活動指標、LF/HF は交感神経の活動指標とした。

3. 実験結果

Fig.1 には 2 条件での HF の変化、Fig.2 には 2 条件での LF/HF の変化を示した。HF は 6 名中 4 名でテトリス後に減少することが認められた。また LF/HF においても 6 名中 4 名でテトリス後に増加することが認められた。

Table1 には、どちらの条件で時間感覚が長いと感じられたかのアンケートの結果を示した。その結果、6 名中 4 名で安静中に時間の経過が長いと感じられたとの回答を得た。

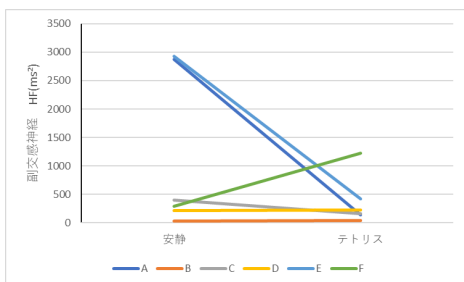


Fig.1 各条件における HF の変化

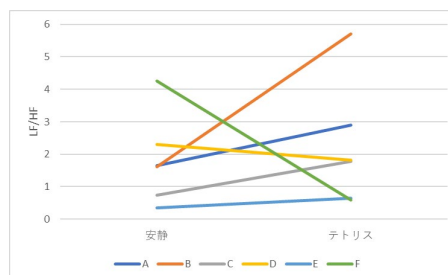


Fig.2 各条件における LF/HF の変化

Table.1 長時間と感じられた条件

被験者	条件
A	安静
B	安静
C	安静
D	同程度
E	安静
F	テトリス

4. 考察

本研究では、安静時とテトリスの 2 つの条件で、自律神経系の活動評価と時間間隔についてのアンケートを行った。その結果、テトリスの時間経過が短いと感じた被験者は、HF の低下と LF/HF の増加が認められた。HF の増加と LF/HF の減少が認められた 2 名の被験者はその後の聞き取り調査であまりテトリスを楽しみ感じておらず、被験者の嗜好による差と考えることもできる。

主観的時間感覚は心拍数に依存するとの報告もあるが、本研究の結果、自律神経系の影響も受けていることが示唆された。今後は他の指標も取り入れ、多角的に検討をしたい。

参考文献

- 高田 晴子、高田 幹夫、金山 愛 心拍変動周波数解析の LF 成分・HF 成分と心拍変動係数の意義、総合健診、32 巻 6 号 (2005)

骨格認識システム HR1 利用した転倒予測に関する基礎的研究

*木原 旭陽（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、姫野 太翔（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、竹嶋爽祐（東海大学 基盤工学部 医療福祉工学科）、矢原 允敏（東海大学 文理融合学部 地域社会学科）、**木村 達洋（東海大学 文理融合学部 人間情報工学科）

1. はじめに

近年病院や介護施設での発生事故の7割強は転倒・転落事故であることが報告されている。1) しかし、これに対する対応は十分とは言えない状況である。そこで、骨格認識システム HR1（株式会社マイスティア社製）を使用し、転倒予測を行うことを可能とするシステム開発の基礎的検討を行なった。

2. ヒトの重心と支持基底面

転倒とは、支持基底面から身体の重心が逸脱したときであると定義されている。そこで本研究では参考文献2の間接法を用いて算出した。間接法とは、表1に示した各体節の質量と重心の位置を用いて、隣接する二つの体節の重心を直線で結び、その距離の両体節の質量に逆比例する内分点を求めることで両体節の合成重心を求める方法である。

また、図1に示すように、支持基底面は縦方向はヒトの足のサイズ、横方向を足の立ち幅とし、その面積を支持基底面と定義した。

3. 実験方法

人体正面と側面の画像を用いて、HR1を使用し実際に骨格検出を様々な動作で行い、重心の推定を行なった。実際に得た骨格検出による体節と、間接法で使用する体節の位置が異なっており、間接法をもとにHR1座標の補正を行ない、上腕、前腕、大腿、下腿の座標を求めた。転倒は重心位置と支持基底面の相対的位置関係が関与するため、重心の推定で使用した座標をもとに支持基底面の推定も行なった。

また、支持基底面の推定には足の横幅と長さを推定する必要があり、横幅はHR1の座標をもとに左右の足の座標の差とした。長さはシステムでの推定が困難であったため、足の踵から膝の長さの半分と足裏の長さの関係性を検討した。その結果、被験者10人中8名で両者の長さが一致したため、これを足裏の長さとして採用した。

以上のように求めた重心と支持基底面を用い、転倒する直前と直後の重心の座標と支持基底面の関係を確認した。

4. 実験結果

図2a、2b（左から1,2枚目）、3a、3b（左から3,4枚目）に実際に転倒を想定した動作の重心と支持基底面を示す。各図の×印は推定された重心位置、○印は支持基底面を表す。

その結果、転倒するか否かの瞬間には重心が支持基底面の境目に位置していることが示された。また、重心が支持基底面から完全に逸脱した際に完全に転倒していることも示された。

5. 考察

本実験において、転倒には重心と支持基底面が相対的關係にあることが示された。今後、支持基底面に重心が近づくときブザーや警報が鳴るようなシステムや、リアルタイムで動画での重心の位置の推定、支持基底面の表在化させるシステムに応用することで転倒予防に寄与することが期待される。また、本研究では男子大学生を被験者として測定等を行なったため、性別や年代別の筋力量や、基礎疾患のデータを取り入れてより多くの人達に合った転倒予測を行なっていくことが重要である。さらに、高齢になるとこのような反射速度が鈍るため、年代別の反射速度についても考慮する必要がある。

参考文献

¹ 大橋幸子ら, 理学療法科学 6(2) : pp.179-183(2011).

² 中村隆一、齊藤宏、長崎浩, 基礎運動学第六版補訂, 医歯薬出版株式会社, (2015)

謝辞 本研究に際し、株式会社マイスティア様より骨格認識システム HR1 を無償で利用させて頂いた。ここに謝意を示す。

表1 各体節の質量比と重心の位置

部位	質量比 (平均値)	重心の位置 (平均値)
頭	0.044	0.63
頸	0.033	0.5
体幹	0.479	0.52
上腕	0.053	0.46
前腕	0.03	0.41
手	0.018	0.5
大腿	0.2	0.42
下腿	0.107	0.41
足	0.038	0.5



図1 支持基底面

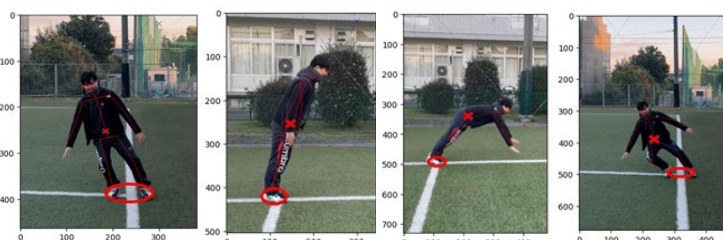


図2a,2b 転倒しそうな状態で支持基底面の境に重心がある状態

図3a,3b 重心の位置が支持基底面から逸脱し、実際に転倒している様子

足動作による運動準備電位の分類

*高橋玲音（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、大井智也（東海大学大学院工学研究科医用生体工学専攻）、木村達洋（東海大学文理融合学部人間情報工学科）、山崎清之（東海大学工学部医工学科）、安藝史崇（東海大学工学部医工学科）、**大島浩（東海大学工学部医工学科）

1. 背景, 目的

脳波などの脳生体信号を利用して機器を制御する技術として Brain Machine Interface (BMI) があるが、ALS 患者などに対する運動やコミュニケーションの支援が期待されている。BMI に関して、AI の深層学習による脳波分類が行われている^{[1][2]}。しかし、深層学習の内部処理過程はブラックボックスであるため、脳波の構造と分類の関連性は示されない。そこで、本研究では BMI の適切な制御を目的として、足動作による運動準備電位 (RP) を片足ずつ 3 条件で測定し、多変量統計解析によって RP の構造を明らかにすると共に、AI による深層学習を用いて RP の分類を試みた。

2. 方法

2.1. 脳波測定

被験者には健康男子大学生 6 名が参加し、電極は国際 10-10 法に基づき、F3、F4、Fc1、Fc2、Fc3、Fc4、Cz、C1、C2、C3、C4、P3、P4、A1、A2 に装着した。

まず、第一および第二の条件として、“Ready” の画像提示で運動の準備をさせ、次に“青丸”又は“赤丸”をランダムに各 50 回ずつ PC ディスプレイに表示し、前者では被験者にボタンを押す（実動作）よう、後者ではボタンを押すイメージを想起する（動作想起）よう指示し、RP を測定した。次に、第三条件として、指示は行わず被験者に任意のタイミングで上記と同様に足でボタンを押させ（任意動作）、RP を測定した。

2.2. 解析

加算平均、ANOVA および主成分分析、深層学習 (LSTM) を行った。まず、動作開始時点をトリガとして 1500ms 前から 500ms 後の間の波形を 50 回加算平均してグラフ化した。また、生データにおける RP のピークに関して ANOVA と主成分分析を行い、条件間で比較した。さらに、各条件の RP の生データを入力として、深層学習 (LSTM) を用いて分類を試みた。

3. 実験結果

加算平均の一例として、RP の特徴がよくみられた波形を Fig.1 に示す。ここで、横軸は時間、縦軸は電位変動を表している。Fig.1 に示すように、-600[ms]から直線的に陰性に増加し始め、300[ms]で-35[μV]のピークに達した。また、ANOVA では前頭葉電極における運動条件間で有意差がみられ (Table.1)、主成分分析では RP の構造を明らかにすることができた。さらに、LSTM では 6 条件に対して 95%の精度で分類することができた (Fig.2)。

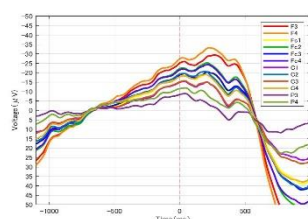


Fig.1 RP の例

Table.1 ANOVA 表

Source	SS	df	MS	F	P
Movement terms	9235.54	2	4617.77	5.60	0.00
Motion sides	425.84	1	425.84	0.52	0.47
Interaction	301.92	2	150.96	0.18	0.83

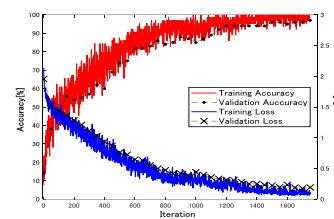


Fig.2 LSTM による分類精度

4. 考察および結論

ANOVA において運動条件間に有意差がみられたのは、ヒトの判断や思考を担う前頭葉のはたらきが動作条件間で異なるためと考えられる。第一および第二条件では、被験者は提示された画像に対する判断を要するが、第三条件の任意動作では判断を行う必要がない。このため、第一および第二条件では前頭葉が第三条件と比較して強くはたらいたことで、RP に有意差がみられたと考えられる。

本研究より、RP に関する条件ごとの差異の解明と AI による分類が可能であった。これにより、運動障害患者に対して支援する BMI の構築に応用可能であると考えられる。

参考文献

- ¹ Leelasiri, Puwadej, et al. "Multi-input CNN Based Classification of EEG and NIRS Signal During Voluntary Hand Movement." European Medical and Biological Engineering Conference. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024.
- ² Reon Takahashi, et al. " Study of readiness potential on foot movement" Journal of Advanced Science 36 (2024): 36112.

脳波における個人特異性情報の抽出に関する基礎研究

*大井智也（東海大学大学院工学研究科）、高橋玲音（東海大学大学院工学研究科）、木村達洋（東海大学文理融合学部人間情報工学科）、山崎清之（東海大学工学部医工学科）、安藝史崇（東海大学工学部医工学科）、**大島浩（東海大学工学部医工学科）

1. 背景, 目的

脳波を用いた個人認証システムは、脳波の持つ不確定性や統計的性質が不安定であることから実現が困難であったが、近年多チャンネル脳波のデジタル処理や人工知能（AI）の導入などにより、現実的な提案がなされるようになってきた（1）。Xiang Zhang らは、多チャンネル脳波を記録し、AI を援用することで、高精度の個人識別の可能性を示した。また、脳波の δ 帯域が識別に寄与していることも示した。しかし、140 以上の電極を頭皮上に装着して測定することは、個人認証の観点からは不便といわざるを得ない。

本研究では、電極の装着数（脳波測定チャンネル）を数個にとどめ、一定の測定時間を確保して、個人に特異的な情報が抽出できるかについて δ 帯域に着目しながら実験的に検討した。

2. 方法

2.1 測定

脳波は静粛なシールドルーム内の椅子に被験者を座らせ安静を求めた。脳波用電極は国際 10/10 法に基づき、C3、C4、P3、P4 とし、両耳朶を基準として装着した。なお、Cz をシステムリファレンスとした。承諾が得られた健常大学生 4 名を被験者とした。被験者には開眼 30 秒、閉眼 30 秒を交互に 5 回ずつ指示し、計 5 分間を 2 セットで測定した。サンプリング周波数は 250Hz、精度は 14bit である。

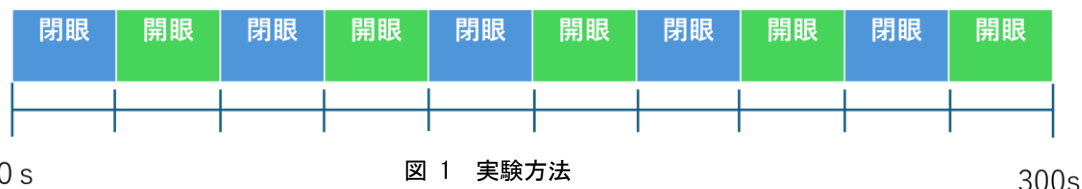


図 1 実験方法

2.2 解析方法

得られたデータのうち、安静閉眼と開眼それぞれにつき FFT を用いてスペクトル解析し、周波数特性を検討した。その際に、30 秒をさらに 5 秒ずつ 6 区画に分け、スペクトル波形の時間的推移を観察した。

3. 実験結果

得られたスペクトル波形の例を図 2 に示した。4 名の被験者において、開眼開始、または閉眼開始か 30 秒の区間でそれぞれ異なる時間的パターンが観察された。

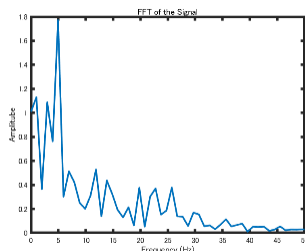


図 2 スペクトル波形の例

4. 考察

本研究では 4 名の被験者について、開眼開始から 30 秒または閉眼開始から 30 秒の区間におけるスペクトルの形状を観察したところ、被験者それぞれの時間的遷移パターンが観察された。本実験においてが被験者は 4 名のみであるから限定的であるが、これらのパターンを深層学習等によって分析することで、個人特有のパターンを弁別できるかについて検討する必要がある。また、必要な弁別精度を得るためにどの程度のデータ区間が必要かも検討するべきであろう。

5. 結論

本研究では周波数スペクトル解析により、 δ 帯域の出現パターンに特徴的な情報が含まれていることが分かった。測定チャンネルを制限すると長い記録時間を要することから、将来の個人識別への応用には注意が必要である。

参考文献

1. Xiang Zhang et. al. MindID: Person Identification from Brain Waves through Attention-based Recurrent Neural Network. Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol. 2, 3, Article 149 (September 2018)

口腔内衛生モニタリングのための無線式マウスガード型濁度センサの開発

*岡田 蒼海、川瀬 源太郎(東京科学大学大学院 医歯学総合研究科)

市川 健太、飯谷 健太、**三林 浩二(東京科学大学 生体材料工学研究所)

1. 背景及び目的

口腔内衛生の不良はう蝕や歯周病といった口腔疾患だけでなく、糖尿病や心血管疾患などの全身疾患のリスクも高めることが報告されており、口腔内の衛生状態を連続的に評価することは、口腔疾患のみならず全身疾患の早期診断や予防医療に寄与するものと期待される。従来の口腔内の衛生評価法として、唾液中の細菌量を定量化する方法や、洗口水や唾液の濁度を利用した簡便な評価方法が報告されているが、いずれも連続的な評価は容易でない。口腔内の衛生状態を連続的に評価するには、口腔にて随時分泌される唾液を検査対象として状態モニタリングすることが望ましいと考えられる。先行研究にて、洗口水と唾液の濁度は様々な健康情報を有する口腔バイオマーカーとして注目され¹⁾、また唾液中の細菌と洗口水中の細菌との間には高い相関関係が報告されている²⁾。そこで本研究では、唾液濁度を、口腔内の閉鎖空間においてリアルタイムに評価を行うため、口腔内にウェアラブル装用可能なマウスガード(Mouthguard, MG)型濁度センサを開発した。

2. 実験方法

本研究で開発した無線式のMG型光学濁度センサの構成図を図1に示す。本センサは、濁度検出素子用のフォトランジスタ(PT)とLED、そして無線計測モジュール、ボタン電池等の主要部品を、真空成型により作製した2層のPETG(polyethylene terephthalate glycol)製MG(Erkodur, ERKODENT)間に封入して作製した。本センサではPTとLEDは切歯舌側に対向設置し、両者の隙間に保持される唾液の光学密度(OD)値をPT出力電流より算出することで、唾液濁度を定量した。LED点灯用のボタン電池2個は、10 k Ω の抵抗器と直列に接続し、左側臼歯の頬側に配置した。無線計測モジュールには、ポテンシオスタット、A/Dコンバータ、Bluetooth Low Energy(BLE)通信機能を備え、サンプリングレート1秒で出力データを外部へと通信した。LEDの波長は、唾液中成分による吸光が少なく、歯科治療にも用いられる405 nmを選定した。

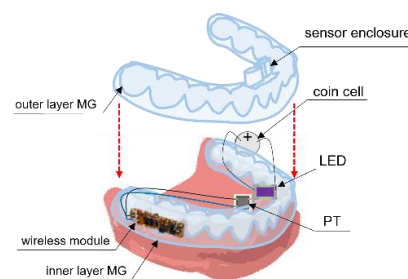


図1. マウスガード型濁度センサの構成図

3. 結果及び考察

作製したMG型センサを用いて、ホルマジン標準液(FSS)に浸漬した際の出力電流を測定した。ベースラインとなる上水(0 FTU、FTUはホルマジン濁度単位)浸漬時の平均出力電流は12.8 μ Aであった。図2に各濁度のFSSに浸漬した際の出力OD値を示す。本MG型センサは唾液の濁度範囲(400~800 FTU)を含む、1~4000 FTUの範囲で濁度定量が可能であり、唾液濁度計測の可能性が示された。次に、健康被験者から唾液試料を採取し、*in vitro*にて濁度計測実験を行った。比較のため、微量分光光度計で同一試料のOD値を測定し濁度を算出した結果、MG型センサ(553 FTU)は微量分光光度計(576 FTU)と同等の濁度値として計測された。また3名の被験者を対象に、MG型センサ装着にて唾液濁度の*in vivo*無線連続計測を実施した。実験の結果、連続的な濁度計測が可能で、唾液濁度の平均値(457 FTU, n=3)は、分光光度計にて計測した唾液試料の濁度値と同等の値であった。

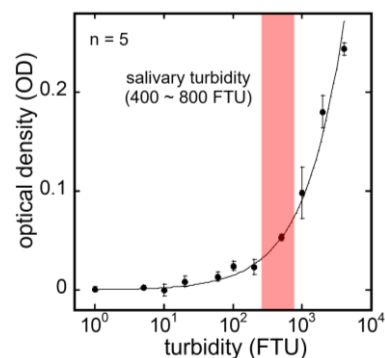


図2. MG型センサの出力OD値と濁度の関係

4. まとめ

本研究では、口腔内衛生状態の指標となる唾液濁度をウェアラブルかつリアルタイムで連続計測するため、無線式MG型唾液濁度センサを開発した。本センサは封入したLEDとPTにより、唾液の光学密度を計測することで濁度の定量が行えた。FSSを用いて本センサの濁度測定能を評価した結果、唾液の濁度範囲を含む広範囲(1~4000 FTU)で濁度定量が可能であった。また、唾液サンプルの濁度を*in vitro*および*in vivo*にて計測した結果、開発したセンサは分光光度計による光学測定と同等の結果を示し、唾液濁度の連続計測の可能性が示された。今後は、本MG型センサを用いた無拘束での口腔内衛生評価へと展開を図る。

参考文献

- ¹ C. Zhang, X. Cheng, J. Li, et al., Nat. Publ., 8, pp. 133–137 (2016)
- ² R. Jo, Y. Nishimoto, K. Yama, et al., Sci. Rep., 9, pp. 16124 (2019)

バンコマイシンの半連続計測のための表面プラズモン共鳴アプタセンサに関する研究

*大野 晃平、里村 結衣(東京科学大学大学院 医歯学総合研究科)

當麻 浩二(芝浦工業大学 工学部)

市川 健太、飯谷 健太、**三林 浩二(東京科学大学 生体材料工学研究所)

1. 背景及び目的

医療ケア中に発生する医療関連感染 (HCAIs) は世界中で常に 140 万人以上の患者がいると推定されており¹⁾、深刻な医療課題となっている。一般的に HCAIs の対処には抗菌剤による治療が行われるが、近年では抗菌剤への耐性を持つ薬剤耐性菌が出現している。薬剤耐性菌の 1 つである黄色ブドウ球菌は「メチシリン耐性黄色ブドウ球菌 (MRSA)」と変異することから、その第一選択薬としてバンコマイシン (VCM) が世界的に使用されている²⁾。しかし、VCM は高濃度で中毒症状を引き起こすことから、定期的な血中濃度の管理である「薬物治療モニタリング (TDM)」が推奨される³⁾。既存の TDM は一定間隔の採血評価であり、即時的な処置が容易でないことから、VCM をリアルタイムで測定する技術が求められている。本研究では、VCM の間欠的な計測を目的に、「長距離伝播型表面プラズモン共鳴 (LRSPR) センサ」と「VCM 認識部位を有するアプタマー」を組み合わせた VCM 用 LRSPR アプタセンサの開発を行った。

2. 実験方法

表面プラズモン共鳴 (SPR) では、薄い金属層に特定の角度で光を入射した際に、入射光が金属表面電子の振動によって発生した電場と共鳴し、反射光が減衰する。本研究で利用する LRSPR は、金属層を屈折率の近い 2 つの誘電体層で挟み込むことにより従来の SPR に比して長い表面伝播距離や強い電場が得られることから、反射率の入射角依存性の曲線 (角度共鳴曲線) が急峻となる。LRSPR センサでは、金属表面に固定したアプタマーが VCM を捕捉した際に生じる屈折率の変化を反射率の変化として検出するため、この曲線の急峻化にて高感度化が可能となる。本センサは LRSPR チップ、フローセル、光源 (HeNe レーザー、 λ : 633 nm)、フォトダイオード検出器にて構築した。LRSPR チップは、ガラス基板上に誘電体 Cytop (スピンコート法、 685 ± 17 nm)、Au 薄膜 (スパッタ法、 $t = 21 \pm 0.6$ nm)、VCM の認識部位 (D-Ala-D-Ala) を有するアプタマー: ペプチド単分子膜 ($\text{NH}_2\text{-Gly-Gly-Gly-Gly-L-Lys-D-Ala-D-Ala-COOH}$) を順に成膜して作製した。サンプル送液用のフローセルは、シリコンゴムシートを CO_2 レーザーマーカで成型加工し、流路を備えた石英に貼付し作製した。予備実験では、LRSPR センサと従来の SPR センサを用いて、0.1% (v/v) グリセリン溶液に対する出力特性を比較した。次に、VCM 溶液 (0.01~100 μM) を負荷し、1 回毎にリン酸緩衝生理食塩水 (PBS) によるリンスを行うことで、各濃度での反射率を測定し、定量性を評価した。最後に、VCM 溶液 (0.01~100 μM) をリンスなしで半連続的に負荷し、間欠的な測定と再現性の評価を行った。

3. 結果及び考察

0.1% (v/v) グリセリン溶液を用いた測定では、LRSPR センサの共鳴角が SPR センサと比して低角度側にシフトし、スペクトル幅が極めて小さく、急峻化した (図 1 a)。また、入射角を共鳴角手前で固定して反射率を測定した結果、LRSPR センサの出力は SPR センサと比して 4.8 倍向上した (図 1 b)。この結果をもとに LRSPR センサにて入射角を固定して各種濃度の VCM 溶液を送液した結果、VCM 濃度に応じた迅速な反射率の増加と、リンスに伴う初期値への回復が観察された。また、臨床における VCM の有効血中濃度 (6.9~28 μM) を含む 0.96~100 μM の定量範囲が得られた。間欠的な測定においても VCM の濃度に応じた反射率の変化が確認され、変動係数 3.3% ($n = 5$) の高い再現性が得られた。

4. まとめ

本研究では VCM の半連続計測を目的として、VCM 用 LRSPR アプタセンサの開発を行った。LRSPR を用いたセンサシステムの構築により、従来の SPR を用いたセンサと比して高感度な間欠が可能となった。また、良好な定量特性と再現性が確認され、半連続測定の可能性が示唆された。

参考文献

- 1 Mainul H, Judy M, et al. Risk Management and Healthcare Policy., 13, pp. 1765–1780 (2020)
- 2 Shime N, Saito N, Bokui M, et al. Infection and Drug Resistance., 11, pp. 1073-1081 (2018)
- 3 Hirano R, Sakamoto Y, et al. Infection and Drug Resistance., 9, pp. 243–252 (2016)

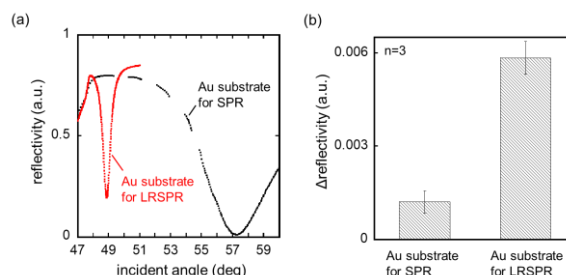


図 1. (a) 0.1% (v/v) グリセリン溶液に対する SPR、LRSPR センサの反射率スペクトル (b) 0.1% (v/v) グリセリン溶液を負荷した時の SPR、LRSPR センサにおける出力比較

経皮ガス計測のための高感度アセトン用バイオスニファの開発

*細見 佑一郎、石月 尚宏(東京科学大学大学院 医歯学総合研究科)

市川 健太、飯谷 健太、**三林 浩二(東京科学大学 生体材料工学研究所)

1. 背景及び目的

体内では多様な揮発性有機化合物(VOCs)が産生され、その一部は生体ガスとして体外に放出される。これらの VOCs を計測することは非侵襲な代謝機能評価や疾病スクリーニングの可能性を有しており、特に皮膚(経皮)ガスは呼吸ガスと比較して採取時の被験者への負担が少なく、連続的に評価を行うことができることから、新たな計測対象として注目されている。例えば生体ガスに含まれるアセトンは脂質代謝や糖尿病のバイオマーカーであるが、経皮アセトンガスの濃度は ppt (1 兆分の 1 体積分率) ~ ppb (10 億分の 1 体積分率) レベルと推定され、計測には高感度なセンサが求められる。またセンサの特性評価においては極低濃度の標準アセトンガスを発生させることも必要である。本研究では、経皮アセトンガスの濃度計測を目的とした生化学式ガスセンサ(バイオスニファ)の開発を行った。また、別途構築した「極低濃度標準ガス発生装置」を用いてセンサの特性評価を行った。

2. 実験方法

アセトンは 2 級アルコール脱水素酵素(S-ADH)による触媒反応にて還元され、その際に補酵素ニコチンアミドアデニンヌクレオチド(NADH)が消費される。この NADH は蛍光特性(ex.: 340 nm, fl.: 490 nm)を有するため、反応中に生じる蛍光強度の減少を検出することでアセトンの測定が可能となる。この原理に基づき、アセトン用バイオスニファを構築した。バイオスニファは S-ADH 固定化膜、フローセル、光ファイバプローブ光学系等にて構成され、励起光源に UV-LED、蛍光強度の検出に光電子増倍管(PMT)を用いた。また、従来系に対して「フローセルの改良」、「PMT の受光面拡大」、「レーザ励起白色光源(LPLS)の導入」を行い、高感度化を図った。構築した系のセンサ感応部に、別途構築した「極低濃度標準ガス発生装置」にて発生させた標準アセトンガスを負荷し、応答性及び定量特性等を調べた。なお、本装置は「低濃度パーミュータ」に、ガス混合器と高精度マスフローコントローラを組み合わせた希釈装置を接続して構築した。また、フローセルに送液する NADH 溶液は、K-K₂緩衝液(100 mM, pH 7.5)を用いて、20 mM に調製した。

3. 結果及び考察

上記センサの最適化を行った結果、セル溝深さ 0.1 mm のフローセル、受光面 $\phi 5$ の PMT 及び LPLS を採用することで、標準アセトンガスに対するシグナルノイズ比を従来比で 40 %改善した。このバイオスニファについて、各濃度の標準アセトンガス(200 ppt~1 ppm)を負荷した際のセンサ出力を図 1 に示す。この図に示すように、標準アセトンガスの負荷に伴う出力増加とガス濃度に応じた定常値が確認された。なお従来型に対して、10 ppb の濃度で出力が 3.6 倍増大し、90 %応答時間が 30 %短縮された。また、定量範囲は従来の 2.3 ppb~1.89 ppm に対して 500 ppt~1 ppm へと高感度化(低濃度側へのシフト)がなされた。また本センサは、アセトン以外の呼気中の揮発性成分にはほとんど出力を示さず、酵素の基質特異性に基づく高い選択性が得られた。

4. まとめ

本研究では、経皮ガス計測を目的としてアセトンガス用の高感度バイオスニファを開発した。高感度化において「フローセルの改良」、「PMT の受光面拡大」、「LPLS の導入」を行ったところ、センサの応答性及び定量特性が向上した。定量範囲は 500 ppt~1 ppm となり、本センサを用いた経皮アセトンガス計測による非侵襲な脂質代謝機能評価の可能性が示唆された。今後は、本センサを用いた脂質代謝機能のリアルタイムモニタリングへの展開を図る。

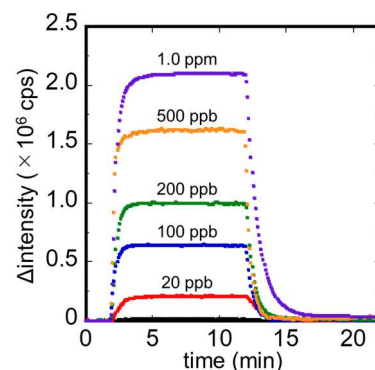


図 1. 開発した高感度バイオスニファの各濃度の標準アセトンガスに対する応答性

参考文献

- 1 L. Pauling, A. B. Robinson, R. Teranishi, and P. Cary, Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A., 68, pp. 2374-6 (1971).
- 2 M. Righettoni, and A. Tricoli, J. Breath Res., 5 (2011).
- 3 P. Mochalski, J. King, K. Unterkofler, H. Hinterhuber, and A. Amann, J. Chromatogr. B Anal. Technol. Biomed. Life Sci., 959, pp. 62-70 (2014)

遺伝子配列アライメントに対する量子アニーリングの応用

*赤松辰哉(東海大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻)、**牧野浩典(東海大学 情報理工学部 情報科学科)

1. 緒言

近年、量子力学の原理を用いて組み合わせ最適化問題を解く量子アニーリング(QA)の研究が進み、様々な学術分野で量子コンピュータの応用事例が報じられるようになった。QA とは量子スピン系と呼ばれる微小な磁性体に磁界をかけこれを制御することで、計算問題の最適解を導く量子コンピュータの計算機構である。本研究では分子生物学における遺伝子配列のアライメント操作に対して QA を適用する方法を確立する。

アライメントとは複数のアミノ酸配列に対して適切な位置にギャップを挿入し、配列中の同じ位置に同じアミノ酸が並ぶように操作することで配列の類似度を比較する手法である。ギャップの挿入位置は類似度の比較結果に大きな影響を与えるため、類似度が最大になるようにギャップの位置を決定することが組み合わせ最適化問題となっている。

本研究の目的はアライメントに対する QA の適用方法を考案し、その有効性（導出解の精度と計算の高速性）を検証することである。そして、分子生物学分野に対する量子コンピュータの運用手段を確立する。

2. ペアワイズ・アライメント(PWA)

PWA は2本のアミノ酸配列の類似性を、評価値を用いて定量的に示す方法である。類似性を評価するにあたり、アミノ酸が一致する部分には高いスコアを、異なる部分やギャップには低いスコアをそれぞれ与え、アライメント全体の評価値（スコアの総和）を定義する。評価値の算出には fig.1 に図示するようなダイナミックプログラミング (DP) を用いるのが一般的である。

DP ではまず2本のアミノ酸配列 AGAC と AGC を縦・横に配置した格子状のグラフを作成する。各格子点は縦・横・斜方向の3本のリンクで隣接する格子点に接続している。このグラフを左上の始点から右下の終点に向けて進む経路を1本選択すると、2本のアミノ酸配列は欠損部にギャップが付与された状態で再整列される。ここで、縦・横のリンクにはギャップのスコア（ギャップ値）、斜めのリンクにはアミノ酸類似度のスコアが付与されており、選択した経路に応じて左上の始点から各格子点を通る度にスコアを加算してゆき、右下の終点に到達するとアライメント全体の類似性の評価値が得られる。ギャップ値やアミノ酸類似度のスコアについては Dayhoff らによって考案された PAM テーブルや、その発展形である BLOSUM テーブルを用いるのが一般的である。DP を利用することにより、最適なアライメント結果を求める問題は、評価値が最も高くなる経路を見つける問題として扱うことができる。この DP を QA で解くために、グラフ上の各格子点 (i, j) に量子スピンを配置したイジングスピン系を導入する。各量子スピンはスピン変数 $q_{i,j}$ の値に応じて、アップスピン ($q_{i,j} = +1$) とダウンスピン ($q_{i,j} = 0$) の2状態を取ることができる。経路の選択を格子点のアップスピンで定義すると、DP の評価値（目的関数）は

$$H = - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N'} (D_{i,j} + S_{i+1,j+1} q_{i,j} q_{i+1,j+1} + G_{i+1,j} q_{i,j} q_{i+1,j} + G_{i,j+1} q_{i,j} q_{i,j+1}) + \alpha \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N'} \{(q_{i+1,j+1} + q_{i+1,j} + q_{i,j+1}) - 1\}^2$$

となる。ここで $D_{i,j}$ は経路に沿って求めた格子点 (i, j) までのスコアの合計値であり、 $S_{i+1,j+1}$ と $G_{i+1,j}$ 、 $G_{i,j+1}$ はそれぞれアミノ酸類似度のスコアとギャップ値を表している。格子点をたどるにつれ $D_{i,j}$ にスコアが加算されていく。また、各格子点から一度に2本以上のリンクが選ばれないように右辺第2項のようなペナルティ項を導入している。

3. まとめ

今回の発表では上式の目的関数に対する量子アニーリングのシミュレーション結果を報告する。今後は計算結果の精度や計算処理にかかる時間などを考慮しながら、アライメント操作に対する量子アニーリングの有効性を検証する。また、リバースアニーリング（量子アニーリングの磁場変化を逆方向に進め、スピン系の状態を改善させる手法）を用いることによる最適解の導出精度の向上も試みる。

参考文献

- [1] 西森秀稔, 大関真之, 「量子アニーリングの基礎」 共立出版株式会社, 2018, pp1-39
- [2] D-Wave Systems, D-Wave Whi. Ser.14. pp.1018(2017)
- [3] Festa, P., *International Mathematical Forum*, 3(6), pp. 269(2008).

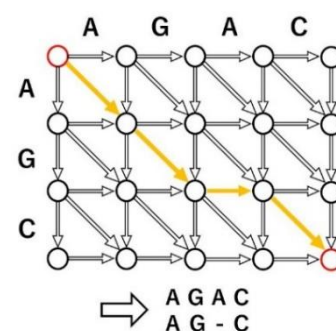


Fig.1 動的計画法によるアライメント操作

物体認識 AI と圧力センサを用いた義手の握力調節システムの構築

* 藤村 優介(東海大学大学院)、** 影山 芳之(東海大学)

1. 目的

脳波義手は脳波をトリガとして開閉のはじめの命令を与えることは可能だが、物体を保持する握力を調節することは現状では困難である。そこで、本研究では AI と圧力センサを用いた義手の握力調節を目指すために必要である評価方法を検討したので報告する。

2. 方法

本研究では、義手側のみで握力の調節を行うことを想定している。そのため、今回は握力調節値を評価する部分について実験を行った。調節値の評価方法としては、義手が握る動作を終えた直後に撮影した 1 枚目と、その 10 秒後に撮影した 2 枚目の画像から物体認識 AI である YOLO¹⁾を用いて物体の中心座標を取得し、この 2 つの座標より 2 点間の移動距離を計算し統計を取った。この時、座標の移動距離が大きい場合は不適切な、少ない場合は適した握力だと仮定した。

実験では義手の代わりとして 2 本指のロボットハンドを使用し、サーボモータを用いて開閉を行った。保持対象物はバナナで、義手の圧力を計測する点とカメラとの距離を 35cm 離して撮影を行った。また、義手がバナナの中心を握る場合と不安定で倒れやすい角度で握る場合の 2 つのパターンを用意し、握力設定値を 3 段階(Low、MIDDLE、HIGH)に分け、各 100 回ずつ計 600 回実験を行い、握力調節値の評価を行った。

3. 実験結果

図 1、2 に中心で握ったパターンと不安定で握ったパターンの各握力での座標距離ヒストグラフを示す。このヒストグラムの横軸は変化した距離(pixel)、縦軸は度数(Frequency)である。どちらのパターンでも距離が短い左側に LOW、MIDDLE が多く、HIGH は距離が長い右側に多い。平均では中心を握った場合の LOW が 0.74、

MIDDLE が 0.60 となった。不安定の LOW が 40.48、MIDDLE が 37.08 となり、どちらのパターンでも MIDDLE の方が短い結果となった。また、HIGH では中心が 0.99、不安定が 58.91 とどちらの場合も MIDDLE より長い結果となった。

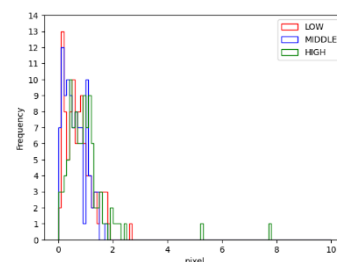


図 1 中心のヒストグラム

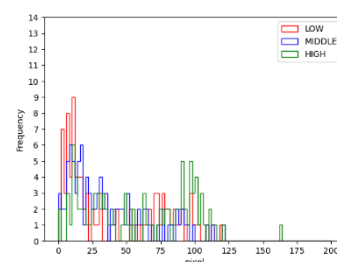


図 2 不安定のヒストグラム

4. 考察

図より、握力の弱い LOW よりも強い MIDDLE の方が座標の距離差が短くなったが、HIGH では MIDDLE や LOW よりも大きい値となった。これは設定した握力が強すぎて物体を押し出す形となり、距離が長くなったことが考えられる。

5. 今後の展望

本研究では、対象物の座標変化から握力調節値の評価方法について実験を行ったが、実験回数や条件が少なく評価方法としての有用性は明らかではない。そのため、握る際の条件や硬さ、形状の異なる対象物で実験を行い、サーボモータや物体認識 AI との関係性を含め検討する。

参考文献

1 Prakhar Agrawal; Garvi Jain; Saumya Shukla; Shivansh Gupta; Deepali Kothari; Rekha Jain; Neeraj Malviya: “YOLO Algorithm Implementation for Real Time Object Detection and Tracking”

振動触覚刺激モジュールを利用した電動車いす利用者のための周囲状況伝達システムの検討

*小林 睦李(東海大学工学部医用生体工学科)、古屋 友和(東京都立産業技術高等専門学校ものづくり工学科医療福祉工学コース)、**安藝 史崇(東海大学工学部医工学科)

1. 背景, 目的

電動車いすは、障害を持つ高齢者の生活の質を維持・向上させるために必要不可欠な補助機器である。しかし、電動車いすは高齢者による事故が多く、そのほとんどが道路横断中の自動車との接触事故⁽¹⁾である。電動車いす使用者が自動車の接近に気付くことができれば事故を未然に防ぐことができる。しかし、高齢者へ警告するには、外では警告音が聞こえにくく、警告表示するとしてもハンドル付近にスペースが殆どない。そこで本研究では、加齢による相対的な劣化が少ない手掌部の触覚に着目し、振動触覚刺激を用いて周辺状況の伝達を行う。

2. 方法

実験装置はハンドル部(PVC パイプ)にリニア振動モータ(LD14-002, 共振周波数約 150Hz, 日本電産 コパル電子社製)を上下左右 2 個ずつ配置し、モータードライバ(DRV2605, Adafruit 社製)と、マイコン(Arduino MEGA 2560)より制御する。ハンドル部の全幅は 380mm, 両手の左右方向の距離は 200mm とした。これは、実車を参考に再現できる最小全幅(380mm)から JIS 規格⁽²⁾で規定される最大全幅(680mm)を製作し実験を行った結果、両手の距離による感じ方による影響はないことが分かったため、最小の値を用いた。振動デバイスの位置は、成人の手掌部の幅の平均が 74mm⁽³⁾、振動デバイスの幅が 14mm であるため、振動デバイスの全体を手掌部に当たるように振動デバイスの間隔を 50mm とした。また、振動デバイスを振動させることで、ハンドル部が振動し手掌部に対し、想定の間隔以外からの振動が知覚されるのを防ぐため、ハンドル部と振動デバイスの間にウレタンフォームを設置することで、ハンドル部に振動を伝わらないようにした。

左右の掌に対し振動デバイスから、振動刺激を連続的に付与し、指定の方向を知覚することができるかを評価する。実験中は、聴覚からの影響を与えないようにヘッドフォンからホワイトノイズを与え、振動パターンを表 1 に示した 5 つ(後ろ前, 左右, 点斜め, 面斜め)用意し、ランダムに 4 試行を行った。被験者は 19~20 歳の男女計 16 名である。

表 1 各振動パターン

方向	番号
後→前	③④⑦⑧
左→右	①③→②④
右→左	⑥⑧→⑤⑦
斜め左→右(面)	③④→⑤⑥
斜め右→左(面)	⑦⑧→①②

3. 実験結果

各項目の正答率を図 1 に示す。縦が正答率、横が方向である。人により正答率の差異はあったが、未経験者の正答率の平均は 84.2%であり、経験者の正答率の平均は 90.4%となった。斜め方向がそれぞれ 9.1point, 22.7point 上昇した。これは、左右との違いが明確に判別できるようになったことが要因だと考える。後→前は 6.9point 上昇した。

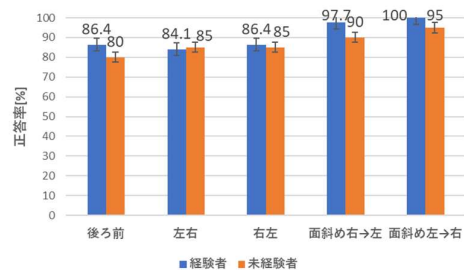


図 1 各方向の正答率

4. 考察

後→前の誤りを見ると、斜め方向が 7 回、左右方向が 4 回であった。振動デバイスが一つでも知覚されないで左右や斜めに誤認されるからだと考えられる。そのため、後→前は仮現運動を使わずに③④⑦⑧を一定の間隔で振動させることで、後ろ方向の伝達は可能ではないかと考えた。

後ろにある振動デバイスのみ振動させたため、明瞭度が上がったことが考えられる。未経験者の結果を見ると正答率の平均が 86%と 3-2 の結果を超えた。以上より、誰でも方向の伝達が可能であると考えられる。

5. 結論

本研究では、電動車いすからの振動触覚刺激により、高齢者に周囲の状況を直感的に伝達することを目標に実験を行った。経験者、未経験者ともに斜め方向は、正答率が 9 割超え、後ろ前左右方向ともに 8 割超えとなり、目的である周辺情報の伝達は達成したといえる。残りの 1 割~2 割をどのように減らしていくかが今後の課題である。

参考文献

- 警察庁電動車いすの交通事故最近の交通事故の実態.
https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku12/shi_04jikoittai.pdf (2021/6/21)
- 日本規格協会編: JIS ハンドブック ⑧, 高齢者・障害者等日本規格協会, p1109-1125(2009)
- 人工知能研究センター, AIST 日本人の手の寸法データ寸法項目一覧.
<https://www.hqj.jp/publications/book/handdatabook.html> (2022/9/8)

加齢臭成分ノネナール検出のための光ファイバ型生化学式ガスセンサ

*稲葉 璃人、森 英久(東京科学大学大学院 医歯学総合研究科)

市川 健太、飯谷 健太、**三林 浩二(東京科学大学 生体材料工学研究所)

1. 背景及び目的

皮膚ガスに含まれるノネナール (2-nonenal) は、加齢に伴う体臭の客観的評価や加齢度合の指標として注目されている。このノネナールは青臭さと油臭さが特徴の化合物で¹⁾、加齢とともに生成される 9-ヘキサデセン酸と過酸化物質の反応により発生することが報告されており²⁾、皮膚ガス中のノネナールを計測することで、加齢に関する変化のモニタリングに利用できると考えられる。ヒト由来ノネナールを計測する既存のガス分析機器は装置が大型、維持費や消耗品費が高額で、操作が複雑であることから、小型および簡便にノネナールを選択的且つ連続的にモニタリング可能な手法が求められる。本研究では、NAD 依存性アルデヒド脱水素酵素 (ALDH) を認識素子とし、ノネナールの酸化反応に基づく蛍光変化を測定する光ファイバ式ガスセンサ (バイオスニファ) を開発した。

2. 実験方法

図 1 に ALDH によるノネナールの酸化反応およびセンサシステムを示す。本センサでは、酸化型 NAD (NAD^+) の存在下でノネナールが酸化される際に生成される NADH は自家蛍光 (ex: 340 nm, fl: 490 nm) を有することから、NADH の蛍光変化を検出にてノネナール測定を行なう。NADH 蛍光検出系は、UV-LED と蛍光検出のための光電子増倍管 (PMT) を、バンドパスフィルタおよび二分岐光ファイバを介して光ファイバプローブと組み合わせることで構築した。ALDH を担体である親水性 PTFE 膜上に包括法により固定した酵素膜を装着した気液フローセルを、光プローブ先端に取り付け、ノネナールガス用の生化学式ガスセンサとした。気液フローセルの酵素膜は、フローセル内部に送られる緩衝液と、気相側に負荷されるガスの隔膜として機能する。センサ評価では、1 mM の NAD^+ を含むリン酸緩衝液 (pH 8.0, 100 mM) をフローセルへ送液し、感応部へ、標準ノネナールガス (0.4~7.5 ppm) を負荷し、蛍光出力の変化を調べ、センサ特性を評価した。また、生体ガスに含まれる種々のアルデヒドに対する出力と比較して、選択性を調べた。

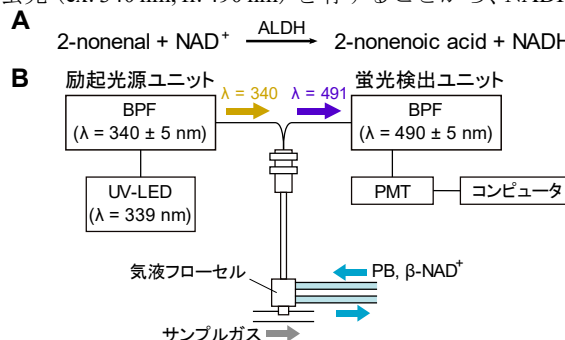


図 1. (A):2-ノネナールを基質とした ALDH の触媒反応 (B):ALDH を用いたバイオスニファによる 2-ノネナールガス計測の実験系

3. 結果及び考察

各濃度に調製したノネナールガスを ALDH 型ガスセンサに負荷した結果、ガス負荷に伴う蛍光強度の著しい増加と、濃度に応じた定常値が観察された。また、清浄ガスへの切り替えに伴う初期値への回復が観察された。フローセル内に緩衝液を連続送液することで、ノネナール濃度に応じた ALDH の NADH 生成速度と緩衝液供給による NADH 除去速度の平衡値がセンサ出力として得られ、ノネナール濃度のリアルタイム測定が可能である。本センサにて調製したノネナールガス濃度 (0.4~7.5 ppm) の定量があり、皮膚ガスとして報告されている濃度 (2.6 ± 1.75 ppm) の測定が可能と考えられる。なお、本センサの選択性を評価するため、他のアルデヒド類に対する出力を調べた結果、ヘキサナールを最大として生体中に含まれるアルデヒドに対して出力が観察された。しかし、加齢により濃度が顕著に増加するアルデヒド成分はノネナールのみであることから、経時的な濃度変化を捉えることで加齢代謝の評価が可能と考えられる。なお、本原理では多様な NADH 依存性脱水素酵素も利用可能であることから、異なる酵素についてノネナールおよびアルデヒド類に対する応答を調べることで、ノネナールガスに対する選択性を向上できると考えられる。

4. まとめ

本研究では、ALDH を用いて光ファイバ型生化学式ガスセンサを構築し、ノネナールガスに対する応答を評価した。ALDH 固定化ガスセンサは、ノネナールに対して濃度依存的な応答を示し、皮膚ガス中の加齢臭濃度を含む範囲で定量可能であった。今後は、他の酵素反応系との併用により、感度と選択性を向上させたセンサの開発に取り組む。

参考文献

- 1 J.R. Santos, Journal of Chromatography A., 985, pp. 395-402 (2003)
- 2 S. Haze, Y. Gozu, S. Nakamura, Y. Kohno, K. Sawano, H. Ohta and K. Yamazaki, J. Investig. Dermatol., 116, pp. 520-524 (2001)

無線 CMOS カメラを用いた外耳道経皮ガスのバイオ蛍光センシング

*土井 佳奈(明治大学 理工学部)、石川 力(東京科学大学 歯学部総合研究科)

市川 健太、飯谷 健太(東京科学大学 生体材料工学研究所)、工藤 寛之(明治大学)、**三林 浩二(東京科学大学 生体材料工学研究所)

1. 背景及び目的

呼吸や皮膚ガスなどの生体ガスには疾患や代謝に関連する揮発性化学成分 (VOCs) が含まれており、血液サンプルと比較し、皮膚 (経皮) ガスは簡便に採取可能であることから、非拘束かつ連続的で非侵襲な疾患スクリーニングや代謝評価に有効と考えられる¹⁾。しかしながら、経皮ガスの濃度は ppb および ppt レベルと低く、高感度センサを要する。先行研究では、検出素子として NADH 依存型脱水素酵素を用いた生化学式ガスセンサ (バイオスニファ) を開発し、飲酒後の外耳道から放出される経皮エタノールの濃度計測を報告しているが、計測装置が大型であり有線の計測であるため、無拘束での代謝評価は困難であった。本研究では、外耳道ガスの無拘束計測を目指して、無線 CMOS カメラを用いたエタノールガス計測装置を構築し、飲酒後の外耳道エタノールガスの計測に適用した。

2. 実験方法

図 1 に、アルコール脱水素酵素 (ADH) が触媒するエタノールの酸化反応と、外耳道経皮ガスシステムの模式図を示す。エタノールは、ADH の触媒反応によりアセトアルデヒドに酸化され、その際に酸化型 NAD (NAD⁺) が電子受容体として機能し、還元型 NADH を生じる (図 1A)。NADH は自家蛍光 (ex: 340 nm, fl: 490 nm) を有することから、励起光源および無線 CMOS カメラを組み合わせることで、ガス負荷に伴い ADH 固定化メッシュ上で生成される NADH を蛍光検出し、エタノールガス計測を行った (図 1B)。ADH 固定化メッシュは H-PTFE 膜 (pore size: 0.2 μ m, thickness: 80 μ m) の担体に、ADH (E.C. 1.1.1.1, 128 units/mg) と 2-methacryloyloxyethyl phosphorylcholine (MPC) および 2-ethylhexyl methacrylate (EHMA) の共重合体である poly[MPC-co-EHMA] (PMEH, 15wt% in ethanol) の混合液 40 μ L を塗布 (60 units/cm²) した後、乾燥 (4 $^{\circ}$ C、3 時間) させ作製した。定量特性の評価では、標準エタノールガス (11 ppb~129 ppm) を酵素膜に負荷し、酸化反応による蛍光強度を数値化した。また飲酒時の外耳道ガス中に含まれるエタノールガス計測 (東京医科歯科大学 医学部倫理委員会承認番号: M2018-160) では、同意を得た被験者にアルコール飲料を摂取 (0.4 g/体重 1 kg) させた後に、酵素膜を取り付けたヘッドセット型外耳道ガス計測装置を装着させ、一定時間毎に外耳道ガスを計測した。

3. 結果及び考察

標準エタノールガス負荷時に得られた蛍光動画を解析した結果、ガス負荷部位における蛍光強度の上昇と、ガス濃度に応じた蛍光強度の定常値が確認された。また負荷するエタノール濃度に応じて定常値が変化することを観察した。これらの定常値をもとにエタノールガスに対する定量性を調べたところ、飲酒時の皮膚エタノールガス濃度 (70~110 ppb/cm²) を含む 11 ppb~129 ppm の範囲で定量が可能であった²⁾。次に、本システムを飲酒後被験者に装着して蛍光画像を撮像した結果、外耳道ガス中のエタノールに由来する蛍光強度の増加が確認された。出力値は飲酒後 70 分時点にて最大値に達し、その後は漸次減少した。既報の飲酒時の皮膚ガス濃度 (70~110 ppb/cm²) と比して、外耳道ガス中のエタノール濃度は比較的高い値であった。これは外耳道が筒状で比表面積が広く且つ皮膚層が薄いことで、外耳道からの経皮ガス中エタノールガス濃度が高く、また外耳道の発汗が少ないことから安定した出力として計測されたものと考えられる³⁾。

4. まとめ

本研究では、日常的な代謝センシングを目的として、無線 CMOS カメラを用いたバイオ蛍光ガスセンサを開発し、ヘッドセット型で無拘束式の「外耳道ガス計測システム」の構築を行った。本システムでは健康者の飲酒時の経皮ガス中のエタノールガス濃度を含む、11 ppb~129 ppm の定量が可能であった。また、飲酒に伴う外耳道経皮ガス濃度の非侵襲的な測定が可能であり、本システムの有用性を確認できた。今後、連続的なガス計測システムへと改良することで、リアルタイムな外耳道経皮ガスセンシングによる代謝評価が可能になるものと期待される。

参考文献

- 1 A. Girach and S. Pakola: Expert Review of Ophthalmology, 4, pp. 311-323. (2012).
- 2 J. D. Fenske and S.E. Paulson, the Air & Waste Management Association, 49, pp. 594-598. (1999)
- 3 S. Mansour, et al. 2019, Springer, pp 153-173. (2019)

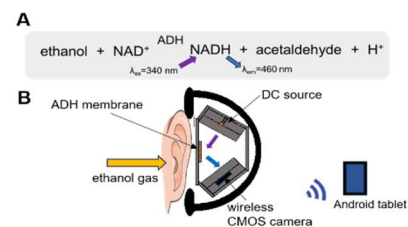


図 1 (A) ADH を用いたエタノールの検出原理 (B) 無線 CMOS カメラを用いた外耳道経皮ガスシステム

バイオ蛍光法による経皮エタノールガスのリアルタイムイメージング

*町 依 路 (東京科学大学大学院 医歯学総合研究科)、

市川 健太、飯谷 健太、**三林 浩二 (東京科学大学 生体材料工学研究所)

1. 背景及び目的

呼吸や皮膚を介して放出される一部の揮発性有機化合物 (VOCs) は疾患や代謝に応じて濃度が変化することから、非侵襲的かつ簡便な疾患スクリーニング、代謝評価への応用が期待される。特に経皮ガスは、継続的に放出され、呼吸と比較し、モニタリング時の被験者への負担を抑えることができるため、長期モニタリングに適している。従来の皮膚ガス計測法はガス凝縮プロセスにおいて時間分解能が低下することが課題として挙げられ、センサの高感度化が必要とされる。一方、皮膚は部位による発汗速度や表皮層数の違いなど多様性を有しており、皮膚ガスを安定に放出する部位を探索することによりセンサの高感度化に依らず計測できる可能性がある。そこで本研究では、経皮ガスを高濃度に放出する部位の探索を目的として、経皮エタノール (EtOH) ガスの動画像化を行った。

2. 実験方法

本実験では EtOH ガスを、ガス通気性に優れるコットンメッシュに固定化されたアルコール脱水素酵素 (ADH) により酸化し、その際に補酵素である酸化型 nicotinamide adenine dinucleotide (NAD⁺) が還元され、自家蛍光 (励起波長: 340 nm、蛍光波長: 490 nm) を有する NADH が生成される。コットンメッシュ上で生じる NADH 濃度分布は負荷された EtOH 濃度分布を反映することから、NADH の蛍光イメージングにより、EtOH ガス濃度を 2 次元分布として動画像化する。ガス動画像化システムは「ADH 固定化メッシュ」「CMOS カメラ」「励起用バンドパスフィルタ (BPF, $\lambda = 340 \pm 42.5$ nm) および蛍光用 BPF ($\lambda = 490 \pm 5$ nm) を一体化したリング型 UV-LED」「2D パイプアレイ・フィッティング装置」を、光学同軸上にそれぞれ配置して構築した。ADH 固定化メッシュは、ADH、ウシ血清アルブミン、リン酸緩衝液 (PB, pH 8.0, 0.1 M) の混合液をコットンメッシュ上に滴下し、冷暗所 (4°C、1 時間) にて乾燥させた後、PB にて 2.5 vol% に調整したグルタルアルデヒド溶液を滴下し、再度冷暗所 (4°C、1.5 時間) にて架橋し作製した。また、EtOH 動画像化の前に、10 mM の NAD⁺ 溶液でメッシュを浸潤させた。本システムを応用し、健康な成人男性を対象に飲酒後に放出される皮膚ガス中 EtOH ガスのイメージングを行った (東京医科歯科大学 倫理委員会 承認番号 2012-06)。なお被験者の飲酒量は体重 1 kg あたり 0.4 g とした。

3. 結果及び考察

最適化した条件を組み合わせ、EtOH ガスを負荷した結果、ガス濃度に応じた蛍光画像が得られ、0.01~100 ppm の範囲で定量も可能であった。本システムは、従来のシステム (定量範囲: 10~150 ppm) と比較し、定量下限が 1000 倍向上しており、飲酒後の呼吸および皮膚ガス濃度 (0.070~0.11 ppm) のイメージングが可能である。また、種々の生体ガス成分にて出力を比較した結果、酵素の基質特異性に基づき EtOH ガスに高い選択性を示し、反応生成物である AcH ガスとの混合ガスにおいても正確な濃度定量が可能であった。本システムを応用し、経皮 VOCs 計測に適した身体部位の探索を行った結果を図 1 に示す。いずれの部位においても EtOH ガス放出が確認され、特に耳周辺において最も高濃度の EtOH ガスが観察された。その要因として、表皮の薄さ³⁾や放出箇所の表面積の大きさが影響していると考察される。特に、耳孔周辺は奥行きがあるため、他の部位と比べ、比表面積が大きくなる。また、耳周辺部は汗腺 (発汗量) がほぼ存在しないため、発汗による影響を受けることなく計測可能で、皮膚ガス計測に適した部位と考えられる。

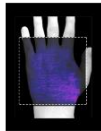
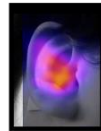
	手掌部	指	つま先	耳
発汗速度 (g m ⁻² h ⁻¹)	126	86	149	N.D.
表皮層数 (layer)	25±11	50±10	55±14	7±2
時空間イメージ				

図 1. 種々の皮膚部位での EtOH イメージングの比較²⁾

American Chemical Society の許諾に基づき表示

本システムを応用し、経皮 VOCs 計測に適した身体部位の探索を行った結果を図 1 に示す。いずれの部位においても EtOH ガス放出が確認され、特に耳周辺において最も高濃度の EtOH ガスが観察された。その要因として、表皮の薄さ³⁾や放出箇所の表面積の大きさが影響していると考察される。特に、耳孔周辺は奥行きがあるため、他の部位と比べ、比表面積が大きくなる。また、耳周辺部は汗腺 (発汗量) がほぼ存在しないため、発汗による影響を受けることなく計測可能で、皮膚ガス計測に適した部位と考えられる。

4. まとめ

本研究では経皮ガスを高濃度に放出する部位の探索を目的として、高感度な VOCs 時空間イメージングシステムを開発した。本装置は EtOH ガスにおいて、飲酒後の呼吸・皮膚ガス濃度を含むイメージングを可能として、定量下限が従来系比の 1000 倍向上した。また、皮膚から放出される EtOH ガスを動画像化した結果、耳周辺において最も安定した経皮ガスの放出が観察された。今後は、複数成分の同時イメージングや 3 次元イメージングへの展開を図る。

参考文献

- ¹ M. Shirasu and K. Touhara, J. Biochem., 150, pp. 257-266 (2011).
- ² K. Iitani, K. Toma, T. Arakawa and K. Mitsubayashi, ACS Sens., 5, pp. 338-345 (2020).
- ³ Z. Ya-Xian, T. Suetake and H. Tagami, Arch. Dermatol. Res., 291, pp. 555-559 (1999).

屈折率傾斜のモノマテリアル AR コートを作製するための積層技術の基礎研究

*滝沢春樹（東海大学工学研究科電気電子工学専攻）、**室谷裕志（東海大学情報理工学部情報科学科）

1. 背景, 目的

波長 300nm より短波長の紫外領域において吸収の小さい高屈折率材料がないため高出力レーザーに耐えられる AR コートを作製することが困難である[1]。この課題に対して、多孔質化により屈折率を膜厚方向に変化させ、SiO₂ 単体で構成された AR コートは、蒸着で作製した一般的な AR コートよりも高いレーザー耐久性を有していることが知られている[2]。SiO₂ はバンドギャップが広く、レーザー損傷閾値が高いが、MgF₂ には劣る[3]。しかし、MgF₂ は大気中の湿度や酸素と反応することで膜表面に微細なクラックが生じる[4]。それに対して SiO₂ は大気中でも安定である。当研究室が開発した複合成膜手法と呼んでいる EB (EB : Electron beam) 蒸着法と DC パルス(DC : Direct current)スパッタリング法を同一チャンパー内で同時に稼働させて成膜する手法により、SiO₂ の屈折率を 1.26 ~ 1.47 範囲で制御することができる[5]。異なる屈折率の SiO₂ 積層することで SiO₂ のみで構成された屈折率傾斜の AR コートを作製できる可能性がある。

本研究では、屈折率傾斜の AR コートを作製するために充填密度の異なる SiO₂ を積層する技術を検討する。

2. 方法

本実験では複合成膜装置を用いて、成膜された低充填密度 SiO₂ (低屈折率膜)の上に高充填密度(高屈折率)な膜を成膜し、SiO₂ で構成された 2 層膜を作製した。成膜条件を Table 1 に示す。成膜には合成石英基板、蒸着材料は、SiO₂ (Merck 社製、純度 4N)、スパッタリングターゲットには Si(USTRON 社製、純度 4N)を使用した。成膜中の基板温度は 100℃、電子ビーム蒸着レートに対してスパッタレート比率が 10% になるように調整をした。

3. 結果と考察

Fig. 1 に成膜した膜の分光反射スペクトルと積層のシミュレーションの結果を示す。Table 2 に単層の屈折率と膜厚、各膜の表面粗さを示す。Fig. 1 より、単純に積層しただけではシミュレーションのスペクトルのようにならないことがわかった。これは Table 2 より、1 層目に比べて 2 層目の表面粗さ (Sa) が小さいにも関わらず、積層したサンプルの表面粗さが依然として高いことから 1 層目が原因だと考えられる。これは界面が不均一になっており、設計通りの光学特性が得られていないため、反射率に影響を及ぼしたのではないかと考えられる。このことから、屈折率傾斜の AR コートを作製する上で、膜の表面粗さを抑えるための積層技術の検討が必要と考えられる。表面粗さの改善方法として、膜の界面にスパッタリング法により緻密で充填密度が高い膜の積層を試みる。

Table 1 Deposition conditions

Deposition conditions		DC power (W)	Amount of Gas (sccm)		Sputtering rate ratio (%)
			Ar	O ₂	
Combination coating	First layer	1000	1000	100	10
	Second layer		500		

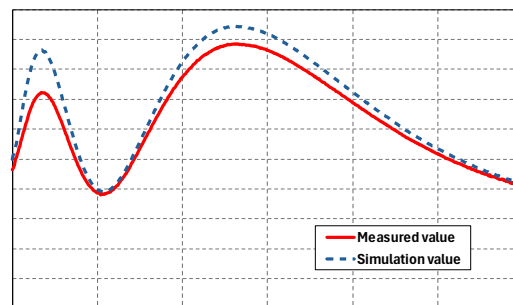


Fig. 1 Reflectance spectrum

Table 2 Thin film evaluation

Deposition conditions	Refractive index	Thickness (nm)	surface roughness Sa (nm)
First layer (single)	1.16	105.0	11.3
Second layer (single)	1.26	85.9	4.3
Multilayer			11.1

4. 結論

多孔質膜のみの積層では、界面が粗くなり反射率に影響を及ぼしてしまう。改善策として、膜の界面にスパッタリングで成膜した層が必要になる可能性があるため、積層技術の検討が必要となる。

5. 参考文献

- 1] K. Yoshida "Highly damage resistant, broadband, hard antireflection coating for high power lasers in the ultraviolet to near-infrared wavelengths regions" Applied Physics Letters. Vol.47, Issue9, pp.911~913, (1985)
- 2] K. Yoshida "Mechanism of damage formation in Antireflection coatings" Journal of Applied Physics. Vol.60, Issue4, pp.1545~1546, (1986)
- 3] L. Gallais "Laser-induced damage thresholds of bulk and coating optical materials at 1030 nm, 500 fs" Applied Optics. Vol.53, Issue4, pp.A186~A196 (2014)
- 4] A. Skriabin "Surface Degradation of Thin-Layer Al/MgF₂ Mirrors under Exposure to Powerful VUV Radiation" Nanomaterials. Vol.13, Issue21 (2023)
- 5] N. Tajima "Optical multicoating using low-refractive-index SiO₂ optical thin films deposited by sputtering and electron beam evaporation" Thin Solid Films. Vol.77, 139824, (2023)

複合成膜手法により作製した低屈折率 Al_2O_3 光学薄膜の膜構造と機械的性質

*鈴木 智晃、**室谷 裕志(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、松平 学幸(SHINCRO CO., LTD)

1. 背景, 目的

多くの成膜材料は透過波長帯域幅や成膜方法に関する制約があり、光学フィルタに適用できる屈折率が制限される。当研究室では、Fig. 1 のような Electron Beam (EB) 蒸着法と Direct Current (DC) パルススパッタリング法を同一真空容器内で同時に作動させ成膜する複合成膜手法を開発した^{1,2)}。この新たな手法により、同一装置内で異なる充填密度 (屈折率) の膜を成膜することが可能である。我々は、この成膜装置を用いて高い機械的特性を持つ Al_2O_3 光学薄膜を成膜し、低屈折率膜を作製することを検討した³⁾。本研究では、低屈折率 Al_2O_3 光学薄膜を作製し主に膜構造を調査した。

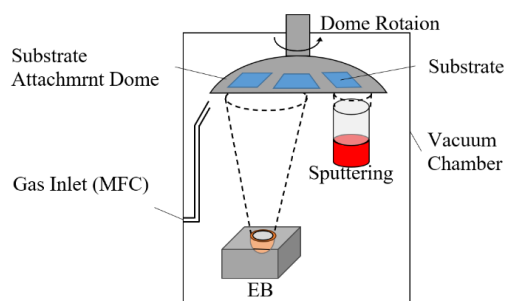


Fig. 1 Schematic of the combinatorial coating equipment for sputtering and EB evaporation¹⁾.

2. 方法

本実験では、成膜用基板として石英ガラス基板を用いた。成膜材料に蒸着材料を Al_2O_3 (Merck, 純度 4N) スパッタリングターゲットを Al (USTRON, 純度 6N) を用いた。成膜条件を Table 1 に示す。ここでは EB 側からのアルゴンガス導入量を変化させ、成膜時の真空度を変え成膜を行った。成膜した薄膜の分光特性を紫外可視近赤外分光光度計 (JASCO, V670) で分析し、屈折率を導出した。更に、走査型電子顕微鏡 (SEM, JEOL, JSM-7100F) にて構造を観察した。

Table 1 Deposition parameters and refractive index.

EB rate : Sputtering rate (nm/s)	Temperature (°C)	EB side (sccm) O ₂	Ar	Sputtering side (sccm) O ₂	Ar	Vacuum level (Pa)	Film thickness (nm)	Refractive index
0.09 : 0.013	100	10	100	100	50	1.1×10^{-1}	600	1.52
						2.1×10^{-1}		1.50
						5.9×10^{-1}		1.42
						1.1×10^0		1.32

3. 実験結果

成膜された Al_2O_3 光学薄膜は成膜時の圧力が上がることで屈折率が 1.52 から 1.32 まで低下した。これらの膜は高い機械的強度を示したが、真空度が 5.9×10^{-1} Pa と 1.1×10^0 Pa のサンプルでは不均質を示した。

観察された SEM 画像から得られた膜厚方向に対する

柱状構造の柱径を示す。 1.1×10^{-1} Pa と 2.1×10^{-1} Pa のサンプルでは、膜表面に近づくにつれて柱の直径が小さくなった。しかし、 5.9×10^{-1} Pa と 1.1×10^0 Pa のサンプルでは、基板表面に近づくにつれて直径が小さくなった。

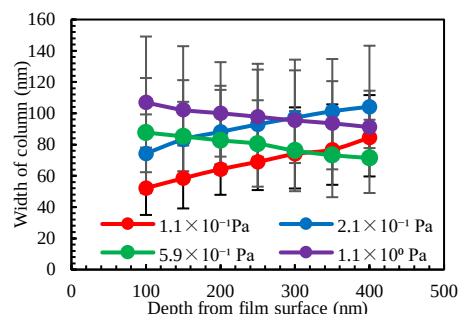


Fig. 2 Variation of column width of Al_2O_3 optical thin film with thickness direction.

4. 考察

本研究では成膜時の圧力が上昇することで密度の低下、膜厚方向に対する柱の直径の変化が確認された。しかし、一般に柱の直径が大きく変化が小さいほど、膜の充填密度が高くなり膜の屈折率が高くなることが知られている。しかし、本研究は異なった結果を示した。これは、SEM では観察できない微小空間の変化が薄膜の充填密度の低下を起こしていると考えられる。

5. 結論

複合成膜手法により成膜時の圧力を変化させ Al_2O_3 光学薄膜を成膜し膜の構造を主に調べた。その結果、成膜時の圧力を上げることで、実用的な機械的特性を有する屈折率 1.32 の膜を作製することに成功した。しかし、充填密度は低下したが、屈折率の不均一性が観察された。成膜時の圧力は、膜厚方向の柱状構造の柱径に影響することがわかった。しかし、充填密度の低下は、柱状構造の柱と柱の間の狭い空間だけでは説明できず、柱内に微視的な空間が存在することが示唆された。

謝辞

測定に協力して頂いた東海大学技術共同管理室の小田氏に感謝致します

参考文献

- 1 Tokai Uni., FINE CRYSTAL Co., Ltd., Shincron Co., Ltd., deposition method. JP5901571.2016-03-18.
- 2 N. Tajima, H. Murotani, T. Matsudaira, "Optical multicoating using low-refractive-index SiO_2 optical thin films deposited by sputtering and electron beam evaporation", Thin Solid Films, Vol. 776, 139824 (2023).
- 3 H. Kato, H. Murotani, T. Matsudaira, "Optical Characteristics of Low-Refractive-Index Al_2O_3 Optical Thin Films Fabricated by Sputtering and Electron-Beam Vacuum Deposition", Optical Interference Coatings Conference, WD.7(2022).

陽性界面活性剤を使用した n 型 SWCNT 膜の性能評価

* 岡野裕太朗(東海大学工学研究科応用理化学専攻)

**雨澤拓也(東海大学工学研究科応用理化学専攻)

** 高尻雅之(東海大学工学部応用化学科)

1. 緒言

熱電変換材料の希少金属の代替として、単層カーボンナノチューブ(SWCNT)がある。先行研究では、陽性界面活性剤であるジメチルジオクタデシルアンモニウムクロリド(DODMAC)を用いた n 型の SWCNT 自立膜(パッキーペーパー:BP)のゼーベック係数が 2 年以上維持できることを実証していた。^[1]本研究ではさらなる界面活性剤の探索のため、塩化ベンザルコニウムを使用した BP の作製とゼーベック係数の安定性の評価を行った。

2. 実験方法

本研究で作製した n 型 SWCNT 分散溶液は、SWCNT 粉末 (SG-CNT ZEONANO SG101)0.08 g と、塩化ベンザルコニウム 0.4 g を溶媒(イオン交換水、エタノール)40 mL に加え、超音波ホモジナイザーを用いて分散し、SWCNT 分散溶液を作製した。作製した分散溶液を減圧濾過法により BP を作製した。その後、アルゴン雰囲気下で脱酸素処理を行い、作製した BP の膜厚、電気伝導率、ゼーベック係数を評価した。比較として、脱酸素処理を行わなかった試料の測定も行った。試料表面は FE-SEM (HITACHI S-4800)を用いて観察した。またラマン分光測定により、BP の構造欠陥を調べた。

3. 実験結果・考察

脱酸素処理を行っていない試料の熱電特性を表 1 に示す。エタノールを溶媒とした試料はゼーベック係数が正の値となり p 型を示したが、イオン交換水を溶媒とした試料はゼーベック係数が負の値となり、n 型を示した。DODMAC を使用した試料は、脱酸素処理を行うことでゼーベック係数が正の値から負の値と変化したため^[1]、塩化ベンザルコニウムを使用した試料では、脱酸素処理を行うことなく n 型を示すことが分かった。

表 1. 各試料の熱電特性

BP	電気伝導率 (S/cm)	ゼーベック係数 ($\mu\text{V/K}$)	$P.F.$ ($\mu\text{W/m}\cdot\text{K}^2$)
エタノール 脱酸×	37.3	32.8	4.0
イオン交換水 脱酸×	19.1	-46.0	4.0

4. 結言

本研究では、塩化ベンザルコニウムを使用した n 型の SWCNT 膜の作製を行った。イオン交換水を溶媒として作製した試料は、脱酸素処理を行うことなくゼーベック係数が負の値を示した。本発表では、脱酸素処理を行った試料との比較や、FE-SEM を用いた表面観察、ラマン分光測定を用いた構造欠陥から評価を行う。

5. 謝辞

本研究で用いた SWCNT (SG-CNT ZEONANO SG101)を試供して頂いた日本ゼオン株式会社 に深謝の意を表します。また、分析装置を供与して下さった東海大学研究推進部技術共同管理室に感謝申し上げます。

6. 参考文献

[1] Y. Amma, *et.al.* Sci.Rep. **12** (2022) 21603.

室温における Pd 基板上 Cu 薄膜に対する水素拡散透過の評価

*中村 智樹(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機械工学専攻)

1. 背景および目的

核融合炉のダイバータなどの高熱流束機器材料候補として Cu およびその合金が注目されている[1]. Cu は水素固溶度、拡散性が低くトリチウムの冷却水漏洩リスクが小さいとされている。しかし、Cu における水素拡散係数および水素固溶度に関する研究は高温域に限定されており、その小さな水素拡散係数のため、室温付近での実験的報告は限られている[2]. このため、室温以下での Cu 中の水素拡散係数について、高温からの外挿による推定値の精度に課題がある。

Horinouchi らは気体水素透過にトリチウムトレーサー技術を応用し、タイムラグ法による計測を行い、低温領域では表面状態の汚染に伴うバリア効果の可能性を指摘している[1]. また、Caskey らは室温において銅中の酸素と水素の相互作用が、見かけの水素拡散係数や吸収される水素量に大きな影響を与えることを報告しており、この相互作用は水蒸気脆性にも関連することを指摘している[3]. これらの報告はいずれもガス重水素およびガストリチウムの透過実験報告であるため、表面状態の寄与を受けるものであり、かつ、拡散における同位体効果を含むものであるため直接的には水素透過実験ではない。

Cu は Pd と固溶体合金化させることで燃料電池向け水素の高純度化に向けた安価な水素透過膜としても注目されているものの[4], Cu/Pd の多層膜として室温における電気化学的な水素透過実験の計測事例がない。多層膜を用いたタイムラグ法による水素透過実験においては、Schmitz の式を適用し、水素透過流束の境界条件を用いることで各層内における水素拡散係数を算出することが可能である[5-7].

そこで本研究では Pd を基板とし、Cu 薄膜を作製し、その上に酸化防止用の Pd 薄膜を蒸着した多層膜を作製し、電気化学的手法による水素透過実験を行うことで、室温付近における Cu の水素透過特性を評価することを目的とする。

2. 実験方法

Pd 基板()に Cu、Pd の順に蒸着した試料に電気化学的手法による水素透過実験を行った。本実験で行った電気化学的水素導入法に用いた装置の概要図を Fig. 1 に示す。装置のセットアップには、ガルバノスタット電源(北斗電工社製、型番 HA-151B)、参照電極に Ag/AgCl, (sat.)電極(東亜 DKK 社製)、対向電極には金ワイヤー(ニラコ社製、純度 99.95 at.%, $\phi 0.5$ mm x 長さ 60 mm)を用いた。電解液にはリン酸水溶液(和光純薬社製、85 wt.%)とグリセリン水溶液(和光純薬社製、99.5 wt.%)を体積比 1:2 に混合したものを、Ar ガスにより 2 時間バブリング処理したものを用いた。試料を挟み込む際には内径 5.4 mm のゴムパッキンを使用し、水素を透過する際に、基板側から透過するように input 側に基板が挟み込まれるようにセッティングした。

3. 結果および考察

電気化学的水素透過実験で得られたタイムラグ(遅れ時間)を Schmitz の多層膜の式に適用した結果、Cu 薄膜中の水素拡散係数を 5.7×10^{-13} m²/s と算出された。先行研究の外挿値の範囲に含まれるが、表面の影響を議論するためには引続き異なる膜厚での評価が求められると考えられる。

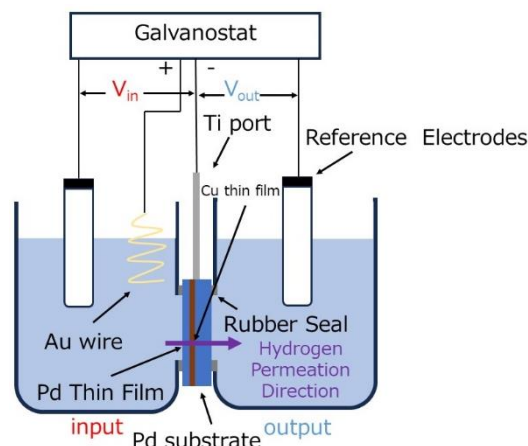


Fig. 1 Schematic diagram of electrochemical hydrogen permeation experiment.

参考文献

- [1] H. Horinouchi *et al.*, *J. Alloy. Compd.*, **580**, (2013), S73-S75.
- [2] 坂本芳一, 高尾慶蔵, 『室温付近における銅中の水素の拡散および溶解』, 日本金属学会誌, **46**, (1982), 285-290.
- [3] G.R.Caskey *et al.*, *Corrosion*, **32**, (1976), 370-374.
- [4] B.D. Morreale *et al.*, *J. Membrane Sci.*, **241**, (2004), 219-224.
- [5] G. Schmitz *et al.*, *Phys. Rev. B*, **15**, (1998), 7333-7339.
- [6] H.T. Uchida *et al.*, *Acta Mater.*, **85**, (2015), 279-289, (2015).
- [7] J. Crank, “*THE MATHEMATICS OF DIFFUSION*“, Oxford University Press, (1956).

水素センサ応用を目指した Pd 薄膜の基板依存性評価

*笹島 泰樹(東海大学院工学研究科機械工学専攻)、坂本 康輔(東海大学院工学研究科機械工学専攻)、**内田 ヘルムート貴大(東海大学院工学研究科機械工学専攻)

1. 背景, 目的

水素は無色無臭で広範な可燃性を持つ気体であり[1]、化石燃料の代替エネルギー源として注目されている[2]。これに伴い水素センサの需要増加が予想される。本研究では、外部電源不要で視覚的検知可能なセンサ開発を目指し、異なる剛性の基板上に Pd 薄膜を成膜し、その水素化特性評価と検知可能な薄膜作製を検討した。

2. 実験方法

真空蒸着法で試料を作製した。GaAs (10 mm × 30 mm) と Cu (10 mm × 30 mm、厚さ 0.010 mm) 基板上に 0.0705 g の Pd を蒸着し Pd 薄膜を成膜した。水素ガス導入処理では、試料を専用装置で片端固定し、28 hPa 以下まで減圧後、1010 hPa 以上の水素ガスを 1 時間以上導入した。X 線回折 (XRD) 法で相分析と応力解析を実施。測定条件は Cu K α 線、スキャン速度 0.02 ° /s、積算時間 2 s/step。面内線膨張率 λ は式(1)で計算した[4]。

$$\lambda = \frac{dt_s^2 E_s (1 + \nu_s)}{3lt_f E_f (1 - \nu_s)} \quad (1)$$

ここで E はヤング率 ($E_s=130$ GPa[5]、 $E_f=121$ GPa[6])、 t は厚さ ($t_s=10.0$ μ m、 $t_f=0.146$ μ m)、 ν はポアソン比($\nu_s=-0.34$ [5])、 d は自由端の変位[m]、 l は固定端から自由端までの長さ[mm] ($l=30$)、 s および f の添え字はそれぞれ基板および薄膜のパラメータを示す。自由端の変位 d [μ m]は、水素を導入する前後のサンプルの一端を固定した固定観察点から、画像解析用ソフトウェア ImageJ を用いてデジタル計測した。

3. 実験結果

水素導入後のたわみは軟質 Cu 基板でのみ確認され、ImageJ 解析により自由端変位 $d=1552.447$ μ m を得た。Pd 薄膜剥離[7][8]は両基板で観察された。式(1)から得られた 2.58%の体積膨張は、Pd の単位胞体積増加 1.5184 $\text{\AA}^3$ に相当[9]し、先行研究データから、Pd 中の H 濃度 (PdH $_x$) は $x \approx 0.13$ と評価された。

4. 考察

軟質基板上でたわみが確認されたことから、軟質基板が水素センサとしての適性を示すことが考えられる。

また、同じ FCC 構造である Pd と Cu を用いることによって高い密着性を確保できると想定していたが、水素導入後に Pd 薄膜の剥離が確認された。この原因として基板上の酸化被膜によって薄膜の密着性が阻害されていたことが考えられる。

5. 結論

本実験より、軟質基板が水素センサとしての適性を示すことが確認できたことから、形状変化をモニタリングすることで、薄膜センサの作製が可能であることが確認できた。また、水素ガス雰囲気中での体積膨張係数に関する知見が得られた。そして、水素導入後に薄膜の剥離が発生することが確認できた。

参考文献

- [1] 井上 雅弘, 『水素の安全利用』, 電気設備学会誌, **36**, (2016), 263-266.
- [2] A. Züttel et al., *Phil. Trans. R. Soc. A.*, **368**, (2010), 3329–3342.
- [3] L. Zhang et al., *J. Alloy. Compd.*, **964**, (2023), 1-8.
- [4] A.C. Tam and H. Schroeder, *IEEE Trans. Magn.*, **25**, (1989), 2629.
- [5] L.B. Freund, S. Suresh, "Thin Film Materials: Stress, Defect Formation, and Surface Evolution", Cambridge University Press, (2004), ISBN:978-0808916710.
- [6] G. W. C. Kaye and T. H. Laby, "Tables of Physical and Chemical Constants and Some Mathematical Functions 15th Edition", (1986), ISBN:978-0582463547.
- [7] E. Nikitin, "Controlled delamination of metal films by hydrogen loading", Ph.D thesis, Universität Göttingen, (2008).
- [8] J. Čížek et al, "Hydro genes of Pd films", *Int. J. Hydrogen Energy*, **38**, (2013), 12115-12125.
- [9] F.D. Manchester, A. San-Martin and J.M. Pitre, "The H-Pd (hydrogen-palladium) System", *J. Phase Equil.*, **15**, (1994), 62-83.

Pd 被覆タングステン板への水素透過と導入が機械的特性に及ぼす影響

*陳 裕原(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. 背景, 目的

核融合発電は次世代エネルギー源として注目されており、国際熱核融合実験炉 (ITER) の建設が進められている。核融合炉反応の一つである D-T 反応において、過剰エネルギーの除去およびプラズマ中の不純物低減の役割を担うのはダイバータである[1]。ダイバータは主にタングステン (W) ブロックで構成される。水素同位体プラズマの照射を受ける W は水素同位体を吸蔵し、水素脆化が懸念される。熱力学的には W への水素固溶度は極端に低く[2]、実質的に水素を固溶しないと扱われる。しかしながら、高いポテンシャルを用いて電気化学的な手法による水素導入を行う事が可能である[3]。そこで本研究では、電気化学的水素導入および透過法[4,5]を用いて、室温における W 内の水素拡散挙動、水素の侵入状態と機械的特性の変化を評価することを目的とする。

2. 方法

Fig. 1 に示す構成で、電気化学的水素透過法による W 板の透過実験を行った。水素透過方向に従い、入力側 (Input) と出力側 (Output) を有するダブルセル[6]を組み上げ、パルス条件または定常条件による透過現象を対象に、遅れ時間の計測による水素拡散係数の評価[7]を行った。厚さ 0.025 mm および 0.05 mm の W 板(99.95 at.%, ニラコ社製) に Pd を表面蒸着したものを作用電極用とし、85 wt.%リン酸水溶液と 85 wt.%グリセリン水溶液を体積比 1:2 で混合したものを電解液として用い、対向電極は Pt ワイヤ(純度 99.95 at.%) を用いた。参照電極として Ag/AgCl 飽和参照電極を用い、電源としてガルバノスタット電源(北斗電工 HA-151)を用いた。また、各水素濃度における平衡 EMF ポテンシャル U [V](vs. Ag/AgCl sat.)の計測も行った。さらに、導入水素量の評価のため、四重極質量分析計を設置した昇温脱離装置(TDS)を用いた。そして、水素を導入した W 試料の機械的特性の変化を調べるため、振動リード法を用いてヤング率の評価も行った。

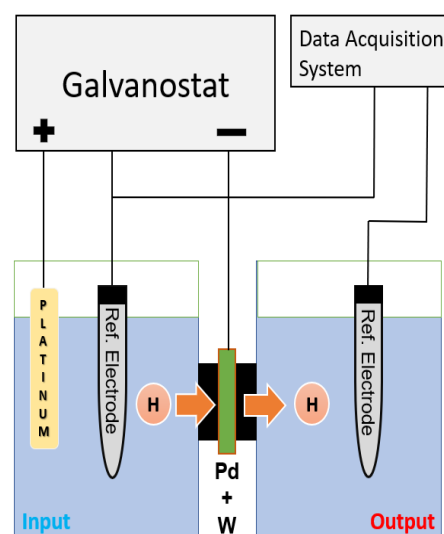


Fig. 1 Schematic diagram of hydrogen permeation electrochemical cell.

3. 実験結果および考察

EMF ポテンシャル計測の結果、Pd と Pd 水素化物の 2 相共存領域を示すプラトーポテンシャルが $U = 0.1$ V 付近にて確認された。透過実験においては、水素透過が確認されたものの、Pd 膜の剥離が確認された。これは Pd 水素化物の形成に起因する体積膨張が生じた事が原因であると考えられる。水素導入処理後の W 試料に対し、昇温脱離法 (TDS) により導入水素量の評価を行ったところ、130°Cあたりおよび 300°Cあたりで微量の水素放出が検出されたことが確認された。それぞれ Pd および W からの拡散性水素、およびトラップサイトからの水素放出に起因するものと推測される。この他、水素を導入した W のヤング率の変化という実験データも実験的に確認された。水素導入によりヤング率の増加と減少が確認された。

【参考文献】

- [1] S.Suzuki *et al.*, *J. Plasma Fusion Res.*, **82**, (2006), 699-706.
- [2] C.H. Skinner *et al.*, *Fusion Sci. Techn.*, **54**, (2008), 891.
- [3] R. Yamane *et al.*, *GMM-Fachberichte*, **98**, (2021), 257.
- [4] R. Kirchheim, *Script. Metall.*, **14**, (1980), 905.
- [5] H. Züchner, *Z. Naturforsch.*, **25A**, (1970), 1490.
- [6] P. Kesten, PhD thesis, Georg-August-Universität Göttingen, (2000).
- [7] J. Crank, *"The Mathematics of Diffusion"*, (1975), Oxford University Press.

水素雰囲気中における Pd 担持 CaCO_3 単結晶基板からのメタン生成

*佐藤蓮(東海大学大学院 工学研究科 応用理化学専攻)、岡本陽佑(東海大学大学院 工学研究科 応用理化学専攻)、
吉田有章(東海大学大学院 総合理工学研究科 総合理工学専攻)、**源馬龍太(東海大学大学院 工学研究科 応用理化学専攻)

1. 背景, 目的

近年、化石燃料の大量消費による CO_2 濃度の上昇に伴う地球温暖化への懸念が高まっている中、炭素リサイクル技術の開発促進が求められている。炭酸塩は、 CO_2 の固定化能が高く、固定化後の生成物が安定であり豊富に存在していることから、炭素リサイクル技術の有望な材料として期待されている。先行研究において、 CaCO_3 粉末に Ni を担持した試料に H_2 ガスを流すことでメタンが発生したことが確認されている¹。この結果から、 CaCO_3 内部の炭素がメタン生成に供給されている可能性が示唆されている。そこで本研究では、薄膜作製法により CaCO_3 基板に Pd を担持させることで人工的に触媒金属/炭酸化物界面を形成し、この界面における H_2 ガス存在下での CaCO_3 の CaO への脱炭酸・メタン生成挙動について調査することとした。

2. 方法

本研究では、 $\text{CaCO}_3(100)$ 単結晶基板上の一部に DC マグネトロンスパッタリングによって Pd を成膜することで、金属/基板界面をもつ試料を作製した。スパッタマスクとしてカプトンテープを用いて、ストライプ状に Pd を成膜することで複数の界面を形成した。触針式膜厚計および SEM を用いて界面近傍の形状測定・観察をおこなった。また、TG-MS を用いて $\text{Ar} + \text{水素}$ 雰囲気にて熱重量分析とガス分析を行い、基板試料からのメタン生成について調査した。

3. 実験結果

図 1 に TG 測定の結果を示す。700℃から 820℃にかけて一段階の重量減少が確認できた。同時に測定した QMS 測定においては、 CO_2 、 CO 、 H_2O のイオン電流値の増加が確認された。一方で CH_4 のフラグメントイオンである CH_3^+ のイオン電流値の増加は確認されなかった。

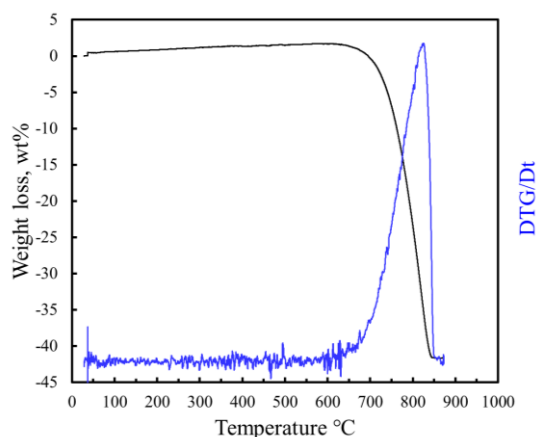


図 1 Pd/ CaCO_3 基板 TG 測定結果

4. 考察

TG 測定の結果より、700℃から 820℃にかけて生じた重量減少は、 CaCO_3 の熱分解反応によるものと考えられる。また、QMS 測定における、 CO_2 のイオン電流値の増加は CaCO_3 の熱分解によって発生した CO_2 によるものと考えられる。 CO は H_2O のイオン電流値の増加も確認されたことから、 H_2 雰囲気下での加熱により還元され発生したものと考えられる。

5. 結論

本実験では、 $\text{CaCO}_3(100)$ 単結晶基板上に Pd を成膜し、人工的に触媒金属/炭酸化物界面を形成し、水素雰囲気下で加熱を行うことによりメタンの生成を試みた。その結果、 CaCO_3 の熱分解が確認されたが、QMS 測定では CH_4 のフラグメントイオンである CH_3^+ のイオン電流値の増加は確認されなかったことから、メタンは発生していないと考えられる。

参考文献

¹ Y. Kawada, J. Adv. Sci., 3, pp. 14-17 (1991).

酸化タングステン粉末からの光触媒電極作製と物性の評価

*宮本 承海(東海大学大学院工学研究科電気電子工学専攻)、**渋谷 猛久(東海大学理系教育センター)

1. 背景, 目的

近年、二酸化炭素排出量の増加による地球温暖化問題が深刻化しており、これを解決できる技術の開発が早急に求められている。人工光合成は、太陽光を利用して二酸化炭素を有用な化学物質に変換する技術として注目されている¹。人工光合成を実現するためには、出発点となる光触媒材料の選定が重要である。本研究では酸化タングステン(WO_3)を光触媒として使用し、その評価を行うことを目的とした。

2. 方法

基板は耐腐食性のあるニッケル基板を使用した。乳鉢に酸化タングステン 2.56 g、硝酸 0.82 g、水 1.8 g を入れ攪拌し、 WO_3 粉末ペーストを作製、スクリーン法で $50 \times 50 \text{ mm}$ で塗布した。比較のため先行研究で使用していた窒化ガリウム(GaN)粉末ペーストでも光電極を作成した。100℃で15分の仮焼成、600℃で30分の本焼成を行った。光触媒活性を評価するために、メチレンブルー水溶液 20 ml と試料をシャーレに入れ、364~600 nm の複数ピークのある紫外光照射装置(HOYA EXECURE 3000)で照射した。一定時間照射した後、メチレンブルー溶液を採取し、分光光度計(日本分光(株) V-670)を用いて吸光度を測定した。人工光合成システムにはアクリル容器を用いた2層式電解槽を使用した。 WO_3 試料ではこの容器の光触媒側に、 $50 \times 50 \text{ mm}$ のインジウム板を金属触媒側に設置した。それぞれの容器には 0.5 mol/L の炭酸水素カリウム(KHCO_3)水溶液を 250 ml 入れた。 GaN 試料では光触媒側に 1 mol/L の塩化ナトリウム水溶液、金属触媒側には 0.5 mol/L の KHCO_3 水溶液をそれぞれ 250 ml ずつ入れた。光触媒とインジウム板は金線で電流計に接続し光電流を測定した。紫外線照射装置に中心波長 364 nm のバンドパスフィルタを付加した場合とフィルタ無しの場合で3時間光照射を行った。

3. 実験結果

メチレンブルー水溶液の吸光度変化を Fig. 1 に、光電流の経時変化を Fig. 2 に示す。両方の試料でもメチレンブルー水溶液の吸光度の低下が見られた。 GaN 試料と WO_3 試料とでは、 WO_3 試料の方が吸光度は低かった。

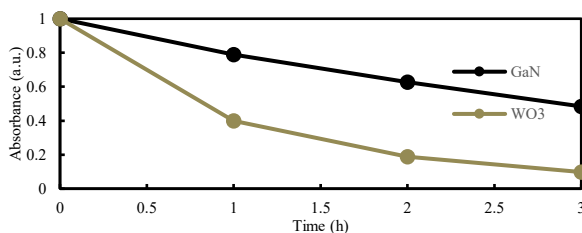


Fig. 1 Time variation of absorbance ratio. The absorbance of the sample without UV irradiation was normalized to 1.

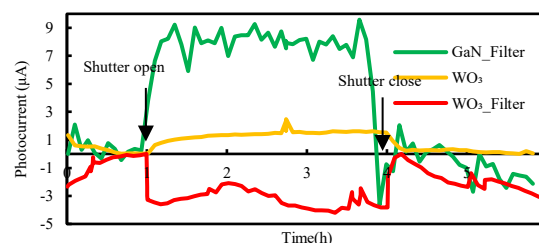


Fig. 2 Time variation of photocurrent during UV light irradiation.

WO_3 試料の光電流はフィルタ有りの場合では $-4 \mu\text{A}$ の下降、フィルタ無しでは $1.5 \mu\text{A}$ の上昇が見られた。 GaN 試料ではフィルタ有りの場合では $9 \mu\text{A}$ の上昇、フィルタ無しでは電流値の上昇は見られなかったが、気泡が発生しているのが確認できた。

4. 考察

WO_3 試料の吸光度の低下が大きかったため、 GaN よりも高い光触媒活性を示したと考えられる。 WO_3 試料のバンドギャップは約 2.8 eV と可視光領域なため、フィルタ有りでは電子正孔対の生成が抑制され、フィルタ無しの場合には、広い波長域での光吸収が促進され、正孔の生成により電流の上昇が見られた。 GaN 試料はフィルタ有りの場合では上昇が見られたのは、バンドギャップが約 3.4 eV と紫外光領域なため、電子正孔対が効率よく生成されたためと考えられる。フィルタ無しでは電流の変化は見られなかったが、気泡が発生したことから、酸素または水素が発生している可能性がある。波長域の広い場合には、ガスの生成が優先され、イオン交換が進まず有機物が生成されないことが考えられる。

5. 結論

本研究では、 WO_3 と GaN を用いて光触媒および人工光合成の評価を行った。バンドパスフィルタを用いて可視光領域、紫外光領域での反応を見ることができた。 WO_3 は可視光領域でもある程度活性を示すことが報告されており、本実験でもその傾向が確認された。 WO_3 と GaN の両者の性質を組み合わせた新しい光触媒材料の開発が、より効率的な人工光合成技術の確立に寄与すると思われる。

参考文献

- 加茂 直樹, 渋谷 猛久, "窒化ガリウム光触媒を用いた人工光合成システムの構築・ギ酸生成". SAS シンポジウム. 2023. E-05.

在宅酸素療法における酸素供給方法の効率性と安全性の比較 ～酸素濃縮装置と液体酸素～

*菱沼翼（長崎総合科学大学大学院工学研究科電子情報学専攻）、坂本望（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、西谷光広（だいもん内科・腎透析クリニック臨床工学科）、嵩孝遥（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）池浩司（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、清水悦郎（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、木村達洋（東海大学文理融合学部人間情報工学科）、**土居二人（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）

1. 背景, 目的

慢性閉塞性肺疾患（COPD）は世界的に主要な死亡原因であり、日本でも有病率が高い疾患である。COPDは長期的な喫煙などの有害物質吸入により発症し、高齢化に伴い患者数や死亡者数の増加が予測されている。こうした状況を受け、厚生労働省は「健康日本21（第三次）」において、2024年から2034年までにCOPDの死亡率減少を目指す方針を掲げている。現在、重度COPD患者の在宅医療では、在宅人工呼吸器（HMV）と在宅酸素療法（HOT）の併用が行われているが、リークや換気量による吸入酸素濃度（ FiO_2 ）の低下が問題となっている。本研究では、HMVの代表機種2台とHOTの併用による酸素供給について、新たな視点から検証を行う。

2. 方法

先行研究に基づき、COPD患者の肺を模擬するためにTTLモデル肺（Training and Test Lung®, Michigan Instruments, Kentwood, MI, 米国）を使用した。人工呼吸器としては、在宅人工呼吸療法（HMV）で使用されているTrilogy-100 plus（フィリップス・レスピロニクス社製、米国）とLEGEND AIR（IMI社製、フランス）を用い、一回換気量を100～500mlの範囲で設定した。また、換気回数は12～15回/分とし、呼吸器のモードはACVモード、PEEPは5cmH₂Oに統一して実施した。

酸素供給には、酸素濃縮装置（小池メディカル社製、日本）および液体酸素（ケアインク社製、米国）を使用し、流量をそれぞれ0.5, 1, 2, 3, 4, 5 L/minに設定して供給した。酸素の添加位置は、人工呼吸器の背面にある低流量酸素ポートと呼吸器回路の途中部分に設定した。

TTLモデル肺に供給される FiO_2 は、酸素濃度計（iVision社製、日本）で測定した。これらの設定で各条件を10回ずつ5分間測定し、その平均値を求めた。

3. 実験結果

2種類の酸素供給源の比較では、供給方法に関わらず、液体酸素を供給源とした場合が高い FiO_2 値を示した。次に、2種類の酸素供給方法の比較では、酸素濃縮装置を供給源とした際、Trilogy-100 plusで一回換気量が500ml、LEGEND AIRで300mlおよび200mlを除くすべての条件で、回路途中で酸素を添加した方が高い FiO_2 値を示した。また、液体酸素を供給源とした場合でも、Trilogy-100 plusの一回換気量500ml、およびLEGEND AIRの500～200mlを除く条件で、回路途中で酸素を添加した方が高い FiO_2 値を示した。

4. 考察

本研究では、COPD患者に対するHMVとHOTの併用治療環境の向上を目的として、先行研究を参考に比較評価を実施した。通常、HMVとHOTを併用する際には、人工呼吸器背面の低流量酸素ポートから酸素供給源を接続して使用するが、従来のHOTでは酸素供給源からの供給圧が低いため、HMVと併用すると FiO_2 値が低下する傾向がある。そこで、本研究では2種類の酸素供給源および2種類の酸素供給方法の双方から比較を行った。統計解析の結果、酸素供給源の比較では、液体酸素からの供給がより高い FiO_2 値を示すことが明らかとなった。また、酸素供給方法の比較では、人工呼吸器の種類によって FiO_2 値に異なる傾向が見られ、最も効率的な供給方法を一概に提言することは困難であった。しかし、本研究では非侵襲的陽圧換気療法（以下、NPPV）におけるマスクからのリークを考慮せず、リークを0L/minとした条件で行ったため、実際のNPPVマスクによるリークが発生した場合には、統計学的に有意な差が確認できる可能性があると考えられる。

Nasal Alar SpO₂ Sensor における部位別反応速度の比較検討

*堤亮輔（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、池浩司（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、清水悦郎（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）江崎敬太（長崎総合科学大学工学部工学科医療工学コース）、**土居二人（長崎総合科学工学部工学科医療工学コース、長崎総合科学大学院工学研究科電子情報工学専攻）

1. はじめに

従来の SpO₂（動脈血酸素飽和度）計測部位は、指尖、耳朶、前額が選択され、新生児では足の甲が計測部位となっている。臨床現場では、血流が豊富で脈波が安定する指尖が主流となるが、末梢循環不全などの低灌流状態や低体温の場合、指尖は最も影響を受けやすく、正確な測定が困難であることが報告されている。他の部位においても、熱傷や壊死などにより計測が困難な場合や、脈波信号が微弱で安定した計測が行えない場合がある。本研究では、最新の Nasal Alar SpO₂ Sensor（Philips 社製）を用いて、鼻部位での違いや、鼻と指尖、鼻と耳朶における SpO₂ 値の反応速度に差が生じるかどうかを比較検証した。

2. 方法

鼻および耳朶での SpO₂ 計測には Nasal Alar SpO₂ Sensor を使用し、指尖では従来の指尖用 SpO₂ センサー JPD-500E（Jumper 社製）を用いた。被験者は仰臥位で、鼻の外側・内側、鼻と指尖、鼻と耳朶における反応速度を左右で比較し、それぞれ安静呼気時、最大呼気時、最大吸気時の 3 パターンで計測を行った。各計測は息止めを 30 秒間行い、各 10 回ずつ実施した。

3. 結果

鼻の安静呼気、最大呼気、最大吸気時の PI 値（灌流指数）はそれぞれ約 1~5 であった。鼻の外側と内側での反応速度および PI 値には大きな違いは見られなかった。指尖の PI 値は正常範囲内であったが、鼻での計測に比べ反応速度が約 10~20 秒遅れる傾向があった。耳朶の反応速度は鼻と比較して多少のずれはあったものの、大きな変化は見られなかったが、PI 値は 1 以下と低く、鼻の PI 値に比べて約 1~4 ほど下回る結果となった。また、耳朶での計測は SpO₂ 値が安定せず、装着に時間がかかり、計測途中でデータが取得できなくなるケースも多く見られた。

4. 考察

指尖での計測では、息止めから SpO₂ が低下するまでの時間および呼吸再開後の正常値に戻るまでの時間が、鼻や耳朶と比較して大幅に遅れるため、SpO₂ の変化を早期に検出するには、中枢に近い鼻や耳朶での計測が適していると考えられる。健常者においても約 10~20 秒の遅れが観察されたことから、実際の臨床現場での患者ではより顕著な遅れが生じると予測される。耳朶での計測では PI 値が低く、安定した SpO₂ 値の取得が難しく、装着部位の変更が 3~5 回必要な例もあった。対照的に、鼻には眼窩下動脈と顔面動脈が交差するため PI 値が高く、安定した計測が可能であった。また、受光部が鼻内部にあるため、環境光や体動によるアーティファクトの影響も少ないことが確認された。以上のことから、Nasal Alar SpO₂ Sensor を使用した鼻での計測は従来の指尖や耳朶での計測が困難な場合においても、信頼性の高いモニタリング方法として有用であると考えられる。

フルクトース水溶液の凍結に関する研究

*樋口 将馬(東海大学大学院理学研究科物理学専攻)、佐々木 海渡(東海大学理学部物理学科、東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター)、喜多 理王(東海大学理学部物理学科、東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター)、**新屋敷 直木(東海大学理学部物理学科、東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター)

1. 背景, 目的

大気圧下で形成される氷には、六方晶の hexagonal Ice(氷 I_h)、立方晶の cubic Ice(氷 I_c)、氷 I_h と氷 I_c の層が混在した stacking disorder Ice(氷 I_{sd})が存在し[2],[3],[4]、水や水溶液を氷結させると氷 I_h と氷 I_{sd} が形成される。また、水溶液の溶質濃度の増加に伴い、氷結水溶液中の不凍水量が増加する[6]。糖水溶液は食品産業や医療分野で広く使用される一方で、氷結水溶液中の水の様々な状態、不凍水・氷 I_h ・氷 I_{sd} の割合については未解明の課題であり、その解明が期待されている。本研究では、単糖の一種であり広い温度・濃度範囲で水に溶解可能なフルクトースに焦点を当て、フルクトース水溶液の濃度と冷却速度が氷構造と不凍水量に対して与える影響を調べた。

2. 方法

溶質に分子量 180.16 g/mol のフルクトース（富士フイルム和光純薬株式会社）、溶媒に超純水製造装置 Direct-Q UV3（メルク株式会社）で精製した比抵抗 18.2 MΩ・cm の純水を用いて、フルクトース濃度 2.50～65.0 wt.% の水溶液を調製した。X 線回折測定（XRD）は Xta-LAB PRO（株式会社リガク）を用いて、試料を 278 K から 193 K へ 0.680～100 K/min のさまざまな冷却速度で冷却した後、193 K で得られた回折ピークのパターンから氷構造を求めた。示差走査熱量測定（DSC）は DSC7（Perkin Elmer 社）を用いた。試料を 283 K から 205 K に 1～100 K/min のさまざまな冷却速度で冷却した後、5 K/min で昇温し、得られた DSC カーブから凍結・融解温度と不凍水量を求めた。

3. 実験結果

フルクトース濃度の増加とともに不凍水が増加した。フルクトース濃度 45wt.% 以下のフルクトース水溶液で氷結した氷はすべて氷 I_h であった。フルクトース濃度 45wt.% 以上の濃度域では氷 I_h が減少し、氷 I_{sd} と不凍水が増加した。フルクトース濃度 45wt.% 以上の濃度域では冷却速度によって氷構造が変化した。一方、不凍水量は冷却速度の影響をほとんど受けなかった。

4. 考察

氷 I_{sd} は氷結可能な水が少ないときに形成されることが知られている[1]。フルクトース濃度 45wt.% 以上の濃度域で氷構造の変化が観測された理由としては、フルクトース濃度の増加とともに不凍水が増加したことで氷結可能な水が減少したこと[1],[5]が考えられる。

5. 結論

本研究では氷結したフルクトース水溶液中で不凍水・氷 I_h ・氷 I_{sd} の割合を明らかにした。詳細についてはポスターでの議論を予定している。

参考文献

- ¹ B. J. Murray, et al., Formation and stability of cubic ice in water droplets, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **8**, 186–192, (2006).
- ² T. J. Parkhurst, et al., A graphical tool for X-ray diffraction data analysis, *Acta Cryst.*, **D73**, 729-737 (2017).
- ³ T. L. Malkin et al., Stacking disorder in ice I, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **17**, 60-76 (2015).
- ⁴ T. L. Malkin, et al., Structure of ice crystallized from supercooled water, *PNAS*, **109**(4), 1041-1045 (2012).
- ⁵ K. Shiraga, et al., Broadband dielectric spectroscopy of glucose aqueous solution: Analysis of the hydration state and the hydrogen bond network, *J. Chem. Phys.*, **142**, 234504, (2015).
- ⁶ E. Bogdanova, et al., Influence of Cooling Rate on Ice Crystallization and Melting in Sucrose-Water System, *Journal of Pharmaceutical Sciences*, **111**, 2030–2037, (2022).

評価係数によるクラシックギターのアルアイレ奏法とアポヤンド奏法の音色分析

*荻田梨央(神奈川県立工科大学工学部電気電子情報工学科)、**板子一隆(神奈川県立工科大学工学部電気電子情報工学科)

1. はじめに

クラシックギターの主な奏法に「アルアイレ奏法」と「アポヤンド奏法」がある。アルアイレ奏法は細くて軽い優しい音色、アポヤンド奏法は力強く切れの良い音色といった特徴を持つ。これらの奏法についてこれまでに、FFT 解析による各奏法の倍音成分の比較を行ってきた。今回は、さらに倍音含有率や協和音程係数を求めて比較することにより、それぞれの音色の特徴と倍音の関係を定量的に示す。さらに、各奏法の弦の振動方向に着目して、倍音の含まれ方について比較を行い、豊かな音色を奏するための方法について検討した。

2. 実験方法

本研究ではギターは Angelica、弦は AUGUSTINE RED を使用した。2つの奏法で発した音を電気信号に変換し、FFT 解析を行い、倍音含有率と協和音程係数を算出して音色の質を評価した。以下に倍音含有率と協和音程係数の式を示す。協和音程は複数音間の調和性が高い音程であり、協和音程係数が高いほど多く含まれている。

$$\text{倍音含有率} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{15} V_n^2}}{V_1} \times 100 [\%] \quad \dots (1)$$

$$\text{協和音程係数} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{15} V_c^2} - \sqrt{\sum_{n=2}^{15} V_d^2}}{V_1} \quad \dots (2)$$

V_1 : 基音の大きさ[V] V_n : n 倍音の大きさ[V]

V_c : 協和音程の大きさ[V] V_d : 不協和音程の大きさ[V]

また、各奏法の弦の振動する方向に着目して、同様の条件下で実験を行った。本研究では、ギターの表面板に沿った方向を水平面とする。アルアイレ奏法は、弦を弾いたあと他の弦に触れずに空気を切るように弾くため水平方向の振動成分が多く、アポヤンド奏法は弦を弾いたあとに指が他の弦に乗り、弦を押し込むように弾くため垂直方向の振動成分が多い。そこで、図1に示すように、アルアイレ奏法に相当する水平方向(0°)、アポヤンド奏法に相当する垂直方向(90°)、斜め方向(45°)の3方向で弦を弾き、倍音の含まれ方について比較した。

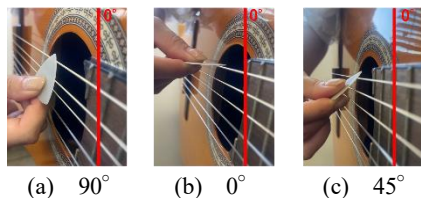


図1 弦の振動方向

3. 実験結果

各奏法で弾いたときの倍音含有率と協和音程係数の算出結果を図3、図4に示す。

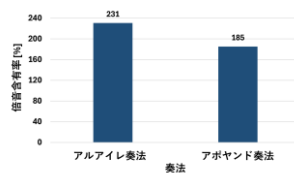


図3 倍音含有率

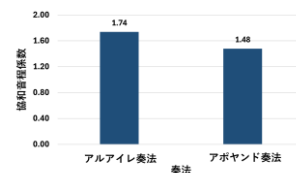


図4 協和音程係数

アルアイレ奏法はアポヤンド奏法に比べて、含まれる倍音成分が多く、協和音程係数も高くなった。

また、図3、図4の結果をもたらし要因として、弦の振動方向に着目した。同様に実験を行い、倍音含有率と協和音程係数を求めた。その結果を図5、図6に示す。

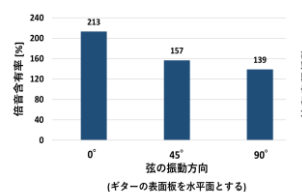


図5 倍音含有率

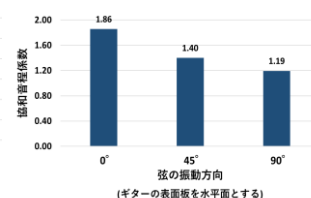


図6 協和音程係数

水平方向の弦の振動成分が多いほど、倍音含有率及び協和音程係数は高くなった。

4. 考察

以上の結果より、弦が垂直に振動することによる基音の強調が、アポヤンド奏法のたく力強い音色をもたらし、水平振動による倍音の増加がアルアイレ奏法の和音を弾くのに適した音色の要因であると考えられる。ギターは、弦を弾いたときの振動がブリッジから表面板に伝わってボディの中の空気が共鳴し、サウンドホールから音が外に出る仕組みとなっている。弦が垂直に振動するときは、基音が持つ振動エネルギーがそのまま表面板に伝わりやすいため基音の割合が大きく、水平方向の振動では基音のエネルギーの伝達量が垂直方向に比べて減衰することに加えて、高次の倍音スペクトルが高いことにより、水平振動のときに評価係数が高くなる結果が得られたと考えられる。このことから、アルアイレ奏法では豊富な倍音が含まれる反面、音量は小さくなるのが欠点となる。そのため、表面板を薄くすることで、振動が効率的にボディ全体に伝わるため、大きな音量を維持することと、倍音が多い豊かな音色を出すことが同時に実現できるようになると考える。

5. まとめ

本研究により、アルアイレ奏法とアポヤンド奏法の音色の違いは、弦の振動方向が異なることによる、倍音の含まれ方の違いが影響していることが示唆された。

ドメインウォールエンコーディングに対するリバースアニーリングの効果の検証

* 岩間慈英（東海大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻）、** 牧野浩典（東海大学 情報理工学部 情報科学科）

1. 背景, 目的

量子アニーリングは、量子力学の原理を利用して、従来のコンピューターでは膨大な時間がかかるこのような計算問題を高速に処理することができる量子コンピュータの計算機構である。特に、組合せ最適化問題に対する有力な解法として注目されている。組合せ最適化問題とは、離散変数を取り扱う情報処理の基本的な問題であり、例えば「オンかオフか」「A か B か C か」といった選択肢を持つ問題である。一方、実世界の多くの最適化問題は連続変数を含む。連続変数とは、ある範囲内で滑らかに変化する値のことで、例えば温度、距離、重さなどがこれにあたる。このような問題に対しては、量子アニーリングを直接適用することができないため、量子アニーリングの適用範囲拡大が課題となっていた。この課題に対し、ドメインウォールエンコーディングという手法が提案された。ドメインウォールエンコーディングとは、連続変数を離散的な形式に変換する技術である。これにより、連続変数問題を量子アニーリングで扱える形式に変換することが可能となった。具体的には、連続的な値の範囲を複数の区間に分割し、それぞれの区間を量子ビットで表現することで、連続変数を離散的に近似する。

また、量子アニーリングの発展形であるリバースアニーリングは、局所解からの脱出や解の精緻化に効果があるとされている。局所解とは、その周辺では最適であるものの、全体から見ると最適ではない解のことである。リバースアニーリングは、一度見つけた解を出発点として、そこからさらに良い解を探索する手法である。これにより、単純な量子アニーリングでは見つけられなかった、より良い解を発見できる可能性がある。しかし、このリバースアニーリングをドメインウォールエンコーディングと組み合わせた際の効果は未だ明らかではない。つまり、連続変数問題を離散化して量子アニーリングで解く際に、リバースアニーリングを使うことで本当に解の精度が向上するのかわかるかは、まだ十分に研究されていないのである。

本研究では、ドメインウォールエンコーディングを用いて連続変数問題を量子アニーリングで解く際に、リバースアニーリングを適用することで解探索の精度向上が可能かどうかを検証することを目的とする。これにより、量子アニーリングの適用範囲拡大（連続変数問題への対応）と性能向上（より良い解の発見）の両立を目指す。

この研究が成功すれば、量子アニーリングをより広範囲の実世界の問題に適用できるようになり、複雑な最適化問題をより効率的に解決できる可能性が開ける。

発表では、まず量子アニーリングの背景と連続変数問題への適用課題を述べ、次にドメインウォールエンコーディングの手法説明、リバースアニーリングの概念と期待される効果を説明する。その後、実験方法と実験結果の提示を行い、最後に結論と今後の展望を述べる。

参考文献

- ¹ 西森秀稔, 大関真之, 「量子アニーリングの基礎」 共立出版株式会社, 2018, pp1-39
- ² S. Arai, H. Oshiyama and H. Nishimori, Phys. Rev. A 108, 042403 (2023).
- ³ D-wave Systems, D-wave Whi. Ser. 14. pp.1018 (2017)

量子アニーリングを利用したデジタルフィルタの瞬時設計

*藤崎浩隆（東海大学情報理工学部情報科学科研究生）**牧野浩典（東海大学情報理工学部情報科学科教授）、高橋智博（東海大学情報理工学部情報科学科講師）

1. 緒言

デジタルフィルタは雑音除去や信号抽出など現在のデジタルデバイスにおいて幅広く利用されている不可欠な技術である。そのなかでも FIR(Finite Impulse Response)フィルタには信号波形の崩れが起きないという優れた性質があるため、たいへん重要視されている。しかし、急峻な遮断特性を得るためには回路規模が増大し、消費電力も増大するため、これらを抑えるための様々な研究が行われている。FIR フィルタの回路規模は乗算器が支配的であり、回路規模の削減には CSD 表現を用いることが有効である。すなわち、フィルタ設計に必要な CSD(Canonic Signed Digit)係数の組み合わせを検討し、係数になるべく 0 を多く含むよう乗算器を設計すればよい。しかし、この組み合わせを得る問題は求解困難な「NP 困難問題」であることが明らかにされている。本研究の目的は CSD 係数 FIR フィルタ設計問題に対する量子アニーリング(Quantum Annealing: QA)型コンピュータの有効性を明らかにすることである。問題を解くためのハミルトニアンを定式化し、量子コンピュータへの実装方法を開拓するとともに、シミュレータ上での解精度の評価と、D-Wave マシン上での高速性の評価をおこなう。

2. 量子アニーリング(QA)を用いた FIR フィルタの設計法

FIR フィルタのフィルタ係数を構成する乗算器の回路構成を図 1 に示す。回路規模はビットシフターの数に依存し、ビットシフター数はフィルタ係数 h_k を 2 進数で表現したときの非零桁の数によって決まる。ビットシフター数を削減するにはフィルタ係数 h_k の各桁を CSD 係数 $b_j \in \{1, 0, -1\}$ を用いて $h_k = \sum_{j=0}^N b_j 2^{-j}$ と記述する CSD 表現が有効である。削減のための制約条件は元のフィルタ係数 h_k と CSD 表現されたフィルタ係数の誤差を少なくすることと、フィルタ係数の非零桁数を減らすことの 2 つである。この制約条件は目的関数を用いて

$$C = \left(h_k - \sum_{j=0}^N b_j 2^{-j} \right)^2 + \left(\sum_{j=0}^N |b_j| \right)^2 \quad (1)$$

で表される。C を最小化させる問題は求解困難な組み合わせ最適化問題である。これを QA で用いて解くため、本研究では以下のエネルギー演算子（ハミルトニアン）を導入する。

$$H = \left(h_k - \sum_{j=0}^N (1 - 2q_{1,j}) q_{2,j} 2^{-j} \right)^2 + A \left(\sum_{j=0}^N q_{2,j} \right)^2 \quad (2)$$

ただし、 $q_{1,j}$, $q_{2,j}$ は 0 又は 1 の値をとるイジング変数で、 $b_j = (1 - 2q_{1,j}) \cdot q_{2,j}$ としている。A は重みを表すパラメータ因子であり、制約条件の効果を調整するために用いる。

今回の発表では式(2)を用いて量子アニーリングのシミュレーションを実行した結果について報告する。今後は得られた結果に対し解の精度評価を行うとともに、D-wave マシン上での計算速度の評価を行う。

参考文献

- 1 西森秀俊, 大関真之, 「量子アニーリングの基礎」, 共立出版, (2018)
- 2 西牧駿, 陶山健仁, 「CSD 係数 FIR フィルタの回路規模の検証」, 電子情報通信学会, (2018)

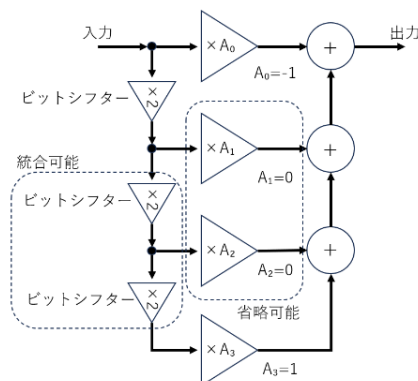


図1 乗算器の内部構成

衣料素材の機能性向上と着心地の定量化に関する研究

* 鈴木 ことみ(東海大工), 原田 亮(東海大学総科研),

鈴木孝紀(株式会社元気カンパニー) ** 内田 ヘルムート 貴大(東海大院工)

[背景及び目的] 衣類の原材料の調達から廃棄までのプロセス全体におけるCO₂排出量は約 10 倍にまで膨らみ, 世界の衣類によるCO₂排出量の約 4.5%である[1]. また, 衣類 1 着を作るのに必要な水の量は 2 t であり, 日本人が 1 日に使う 7~10 日分の水を 1 着の衣類の生産に要する[1]. これらの数字は, 私たちの日常生活に欠かせない衣料品が環境に与える影響の大きさを如実に物語っている. このような状況を踏まえ, 衣料生地環境負荷を低減しつつ機能性の付与をはじめとする付加価値を創出する革新的な取り組みが推進されている. 本研究では, 衣料素材の機能性向上と着心地の定量化を試みることにした. 特に, 「暖かさ」「軽さ」「涼しさ」に着目した. 「暖かさ」と「軽さ」ではナイロン入りのヤク混紡ウールと混紡なしウールを比較し, ヤクは本当に暖かいのか, 数値化により判断する. 「涼しさ」と「軽さ」では綿 100%の生地を使用し, 吸水性, 速乾性がどこまで高いのかを数値化することを目的とする.

[実験方法] ナイロン入りのヤク混紡ウールと混紡なしウールの保温率, 接触冷温感を比較するため, 保温性試験 JIS L 1096 A 法[2], 接触冷温感試験 KES-F7,サーモラボ II 型[3]を実施した. コットン生地の方では吸水性, 速乾性について調べるため, 吸水試験 バイレック法[4], 速乾性試験 滴下法[5]を行った. いずれの試験も地方独立行政法人神奈川県立産業技術総合研究所 KISTEC の実験室で室温 20°C, 湿度 65%の環境で試験を実施した. Fig.1 は, 吸水試験 バイレック法 の実施過程の様子を撮影したものである.

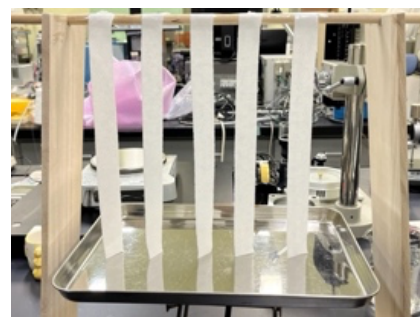


Fig.1 吸水性試験の実施過程の様子

[実験結果及び考察] 本研究では暖かさ, 涼しさの数値化を目的とするものである. 暖かさではウールの生地を試料として使用し, 保温性と接触冷温感の試験を行った. 保温性試験, 接触冷温感試験からヤク入りのウール生地の方が保温率も高く, 触った時の感覚も暖かいことがわかった. これはヤクの生息地がウールの生息地よりも標高が 3000 メートルほど高く[6], 毛が空気を含みやすく, 熱を逃がしにくいということが考察される. 涼しさの数値化を目的とし, 綿 100%の生地を試料として使用し, 吸水性試験, 速乾性試験を行ったが, 実験結果に整合性が見られなかった. そこで考えた結果, 試料に汚れのようなものが付着し, 吸水, 速乾を邪魔しているのではないかと考えた. そこで, JIS の試験方法について調べてみると, 試験を行う前に必ず洗濯を 3 回行い, 乾かした上での試験が必要だということがわかった. つまり, 今回のコットンの試料は試験試料として不適切と見なされ, 今後, 本研究に適切な資料を作成し, 試験を継続する予定である.

[参考文献]

- [1]令和 2 年度『ファッションと環境に関する調査業務』,環境省,2020,
https://www.env.go.jp/policy/pdf/st_fashion_and_environment_r2gaiyo.pdf [Web 2024 年 7 月 1 日閲覧]
- [2]JIS L 1096 A 法, 一般財団法人カケンテストセンター, <https://www.qtec.or.jp/search/test/kinou/kinou13/> [Web 2024 年 7 月 24 日閲覧]
- [3]KES-F7,サーモラボ II 型, 一般財団法人日本繊維製品技術センターQTEC
<https://www.qtec.or.jp/search/test/kinou/kinou13/> [Web 2024 年 7 月 1 日閲覧]
- [4]バイレック法, 一般財団法人カケンテストセンター <https://www.kaken.or.jp/test/search/detail/6> [Web 2024 年 7 月 1 日閲覧]
- [5]滴下法, 一般財団法人カケンテストセンター <https://www.kaken.or.jp/test/search/detail/6> [Web 2024 年 7 月 1 日閲覧]
- [6]『チベットのヤク、肺に特殊な細胞 高地の低酸素に適応か』,日本経済新聞, 2022/9/27

誘電分光法による氷結したタンパク質と高分子の水溶液の不凍水分子運動

古旗華保莉**(東海大学大学院総合理工学研究科総合理工学専攻)、**佐々木海渡**(東海大学理学部物理学科、東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター)、**喜多理王**(東海大学理学部物理学科、東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター)、*新屋敷直木**(東海大学理学部物理学科、東海大学マイクロ・ナノ研究開発センター)

1. 背景・目的

今日まで、誘電分光法を用いた高分子水溶液の分子運動について研究が行われている。誘電分光法とは、複素誘電率の周波数依存性から、分子運動を特徴付ける実験手法である。特に、誘電分光法は分子運動測定法の中で最も広い観測周波数(μHz ~ THz)域を持ち、液体から固体まで測定が可能であるため、温度および濃度変化させた様々な高分子水溶液の誘電分光測定が行われている。

我々は、Poly(ethyleneimine) (PEI)、Poly(vinyl methyl ether) (PVME)、Poly(vinyl alcohol) (PVA)、Poly(vinylpyrrolidone) (PVP)などの合成高分子やウシ血清アルブミン(bovine serum albumin: BSA)、ゼラチン、リゾチームなどの生体高分子の 0°C 以下の水溶液の誘電分光測定を行ってきた¹⁻⁵。基本的に、 0°C 以下の合成高分子および生体高分子水溶液では、氷、不凍水、水と協同運動する高分子に起因する3つの緩和過程が観測される^{2,3,6}。不凍水に着目すると、最大濃度40 wt%のPEI、PVME、PVA、PVP水溶液において、温度範囲 0°C ~ -26°C 、周波数範囲10 MHz~10 GHzで不凍水の誘電緩和過程が観測され、水の結晶化温度以下で不凍水の緩和時間の温度依存性より、不凍水の分子運動が溶質濃度と化学分子構造に依存しないことが報告された⁵。不凍水は、溶質の近傍に存在し、その溶質の影響を強く受けるため 0°C 以下でも氷結せず、過冷却状態の液体として存在する。生体高分子であるタンパク質も不凍水を持ち、タンパク質の機能発現、構造の安定、フォールディングなど生命維持に重要な役割を担っているが、これらの研究は未だに少ない。そこで本研究は、分子構造が単純かつ細胞培養や免疫染色などの生化学実験に使用されるBSAの不凍水の誘電緩和過程を観測および解析し、合成高分子の不凍水の分子運動と比較を行う。

2. 方法

試料は、BSA(Sigma-Aldrich)と比抵抗 $18.2\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ の超純水(Milli-Q water、Merck Millipore)を用いて20 wt% BSA水溶液を調製し、室温 $20\pm1^\circ\text{C}$ で2日間攪拌機にて攪拌後、誘電分光測定に用いた。

誘電分光測定は、時間領域反射法(Time domain reflectometry: TDR)を用いて行った。TDR法は、立ち上がり時間40 psのステップパルスを試料に入射し、その反射波を観測および解析し、試料の複素誘電率の周波数依存性を得る⁷。TDR測定(周波数域10 MHz~30 GHz)は、オシロスコープ(HP54120B)に接続したテストセット

(HP54124A)にフレキシブルケーブル1 mを取り付け、内径 $\phi=5\text{ mm}$ の外部導体と、直径 $\phi=1.97\text{ mm}$ 、長さ $d=0.72\text{ mm}$ の中心導体を組み合わせたセル型電極を用いた。 25°C ~ -40°C の温度範囲で誘電分光測定を行った。

3. 実験結果

BSA水溶液で不凍水の緩和が観測された。より詳細な議論を行うため、Cole-Coleの式でカーブフィッティングを行い、誘電緩和時間、緩和強度、緩和の広がりを表すパラメータを決定した。BSAの不凍水緩和時間は温度の低下と共に大きくなった。合成高分子PEI、PVME、PVA、PVPとBSAの不凍水緩和時間と比較すると、BSAは合成高分子より不凍水緩和時間が小さくなる傾向がみられた。発表では、より詳細なBSAと合成高分子の不凍水の分子運動について説明する。

参考文献

- 1 T. Tsukahara, K. Sasaki, R. Kita, and N. Shinyashiki, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **24**, pp. 5803-5812 (2022)
- 2 K. Sasaki, A. Panagiotopoulou, R. Kita, N. Shinyashiki, S. Yagihara, A. Kyritsis, and P. Pissis, *J. Phys. Chem. B*, **121**, pp. 265-272 (2017)
- 3 A. Panagiotopoulou, A. Kyritsis, A. M. Aravantinou, D. Nanopoulos, R. Serra, J. Ribelles, N. Shinyashiki, and P. Pissis, *Food Biophysics*, **6**, pp. 199-209 (2011)
- 4 M. Fujii, K. Sasaki, Y. Matsui, S. Inoue, R. Kita, N. Shinyashiki, and S. Yagihara, *J. Phys. Chem. B*, **124**(8), pp. 1521-1530 (2020)
- 5 N. Shinyashiki, M. Shimomura, T. Ushiyama, T. Miyagawa, and S. Yagihara, *J. Phys. Chem. B*, **111**, pp. 10079-10087 (2007)
- 6 S. Cerveny, S. Ouchiar, G. A. Schwartz, A. Alegria, J. Colmenero, *J. Non-Cryst. Solids*, **356**, pp. 3037-3041 (2010)
- 7 R. H. Cole, *J. Phys. Chem.*, **79**(14), pp. 1459-1469 (1975)
- 8 R. H. Cole, *J. Phys. Chem.*, **79**(14), pp. 1469-1474 (1975)
- 9 R. H. Cole, *J. Phys. Chem.*, **84**(7), pp. 786-793 (1980)

Formulation and Evaluation of Amorphous Solid Dispersions of Erlotinib HCl

* **K.P Safna Hussan***(Micro/Nano Technology Center, Tokai University, Japan, Amala Cancer Research Center, India, Ayurgreen Scientifica Research Institute, India),

G. Govindaraj (5Department of Physics, School of Physical, Chemical and Applied Sciences, Pondicherry University, India.),

Natália T. Correia (Department of Physics, University of Lille, France),

****Naoki Shinyashiki** (Micro/Nano Technology Center, Tokai University, Japan. Department of Physics, School of Science, Tokai University, Japan)

Mohamed Shahin Thayyil (Department of Physics, University of Calicut, India),

Thekkekara D Babu (Amala Cancer Research Center, Amala Nagar, Thrissur, Kerala, 680 555, India)

1. 背景, 目的 (MS ゴシック, 9 ポイント)

Cancer treatment continues to face challenges, with a notable failure rate in translating breakthroughs into therapies. Anticancer medications often encounter hurdles related to poor solubility, impacting bioavailability and, subsequently, therapeutic efficacy. Erlotinib HCl is a tyrosine kinase inhibitor act as a single-agent activity in various cancers, yet its low aqueous solubility hampers its practical utility. The purpose of this work is to enhance the solubility and bioavailability of erlotinib hydrochloride and thereby to improve its therapeutic effectiveness, by formulating it into an amorphous solid dispersion (ASD) by utilizing biocompatible and nontoxic polymers such as polyvinylpyrrolidone (PVP) and polyethylene glycol (PEG), as well as their blend in a 1:1 ratio.

2. 方法 (MS ゴシック, 9 ポイント)

The investigation involves physiochemical characterization utilizing High-Performance Liquid Chromatography (HPLC), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), UV-Visible Spectroscopy and X-ray Powder Diffraction (PXRD), Thermal Gravimetric Analysis (TGA), Differential Scanning Calorimetry (DSC) and Broadband Dielectric Spectroscopy (BDS), followed by, the drug releasing profiles. Further, biological evaluations including antioxidant properties, cytotoxicity studies and in vivo assessment of antitumor activity in mouse tumor models were done to evaluate the enhancement in its chemotherapeutic efficacy.

3. 実験結果 (MS ゴシック, 9 ポイント)

All erlotinib characteristics were retained in ASD even at a 10% weight ratio in FTIR and UV-visible spectrums. The strength of distinctive characteristic peaks of ERL were diminished in their ASDs due to decreased drug concentration, and the majority of the peaks were moved to the lower frequency side because of the higher degree of freedom in the amorphous phase. With the exception of the semicrystalline peaks of PEG-4000 peaks, the crystallinity peak of ERL in PXRD was shattered in ASD. This indicates that the crystalline ERL has transitioned to an amorphous form in the formulations. The microscopic images and diffraction patterns confirmed the conversion of crystalline ERL to an amorphous state in the ASD, even in the semicrystalline polymer PEG. No signs of residual crystallinity were found from PXRD and DSC. Shifts in degradation temperatures to higher ranges indicated enhanced thermal stability of ERL in the ASD formulations, attributed to the protective effect of PEG and PVP. The fragility of the materials was quantified using the fragility index (m), for ERL+PEG, $m=148$; for ERL+PVP, $m=62.1$; and for ERL+PEG+PVP, $m=45.5$. Thus, ERL+PVP and ERL+PEG+PVP are considered strong glass formers, while ERL+PEG is a fragile glass former, likely due to the semi-crystalline nature of PEG. HPLC spectra indicated greater release of drug molecule in ASDs than their crystalline counterpart. All ASDs showed higher antioxidant activity than neat erlotinib. The antiproliferative activity of ERL was improved in all ASDs; $IC_{50} < 20$ were observed for ERL+ PVP/PEG blend in HCT-116, ERL+ PEG in MCF-7 cancer cell lines. The formulations did not exhibit toxicity in mice. When comparing the solid tumour to the various tested concentrations, ERL+PEG considerably decreased the tumour by $98.78 \pm 0.3\%$.

4. 考察 (MS ゴシック, 9 ポイント)

In ERL+PEG, two relaxations (α and β) were observed, with α related to the amorphous phase of PEG and β to weak local motions in the glassy state, while ERL+PVP showed a single α relaxation linked to segmental motions in the amorphous phase. In ERL+PEG+PVP, three relaxations were identified, suggesting it may behave as a physical mixture rather than a true ASD. PEG likely enhances the glass-forming ability of the formulation due to its plasticizing effect.

5. 結論 (MS ゴシック, 9 ポイント)

Results reveal promising improvements in erlotinib's solubility, stability and efficacy in the ASD formulations especially, ERL+PEG. The study provides a foundation for further exploration of erlotinib ASDs and encourages advancements in the development of effective and stable formulations for improved cancer treatment.

参考文献 (MS ゴシック, 9 ポイント)

¹ F. Yamasaki, et al., Mol. Cancer. Ther., 6 (2007) 2168–2178.

² K.P. Safna Hussan, et al., J. Mol. Liq. 365 (2022) 120072.

³ P. Taylor, et al., Polymer-Plastics Technology and Engineering, (2015) 37–41.

SAS 団体会員 (2024 年度)

(50 音順)

株式会社 オーネックス
オリエンタルエンジニアリング株式会社
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 NITTAN
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 13 社

謝辞

本シンポジウムを開催するにあたり、多くの方々にご尽力賜りました。厚く御礼申し上げます。

2024 SAS Symposium プログラム

令和 6 年 11 月1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 E-mail : sasinfo@sas-jas.gr.jp

URL <http://www.sas-jas.gr.jp/>

発行人・宮沢 靖幸

© 2024 Society of Advanced Science