

研究課題名：曲面形状太陽電池の開発および高効率化

研究代表者：井組 裕貴

小区分：地球資源工学およびエネルギー学関連

1. 研究計画の概要

現在様々な太陽電池の研究開発が行われているが、曲面形状に合わせた太陽電池の製作や設置が難しいのが現状である。しかし、エネルギーの有効利用やエネルギーハーベスティングの面から曲面形状の利点は大きい。様々な研究機関が色素増感太陽電池（DSC）を用いてフレキシブル化の研究を行い、曲面形状化を達成している。しかしながら、既存の方法だと曲面形状化および曲面形状への設置の際に、曲げストレスが発生しTiO₂の剥離が生じる可能性が高い。TiO₂の剥離は発電効率に直接的に影響を及ぼすため、剥離の抑制が重要となる。申請者はTiO₂焼結後の曲げによる剥離や破損の軽減をするため、真空バギング法により低真空下におけるTiO₂焼結を確認した。しかしながら、同方法による焼結方法はTiO₂の焼結時に破損や剥離の発生が起こりやすい。また、低真空処理時に空気の流れからTiO₂薄膜と基板との間に隙間が生じ、剥離が起こりやすい環境である可能性が考えられる。それらの点から焼結方法の改善および焼結後の評価、実際に曲面形状 DSC による発電評価を行う。また曲面型太陽電池の高効率化を目指し、DSC と同じようにTiO₂焼結をするペロブスカイト太陽電池（PSC）に注目し、同方法におけるTiO₂焼結を行ったPSCの作成を行う。本研究における取り組みを以下のようにまとめる。

- ①曲面形状で低温焼結可能な焼結装置の開発
- ②結晶構造及び画像から発電効率低下の原因検討
- ③低温低真空焼結装置による円環型 DSC の開発
- ④低温低真空TiO₂焼結をしたペロブスカイト太陽電池の作成

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

①曲面形状での低温焼結装置開発

従来の装置は図1に、開発した真空チャンバー実験装置は図2となる。真空チャンバーの外側にリボンヒーターを巻き付けて加熱する。温度測定には熱電対を使用し、密閉を維持するために真空

ゴムチューブ内に熱電対を通してている。

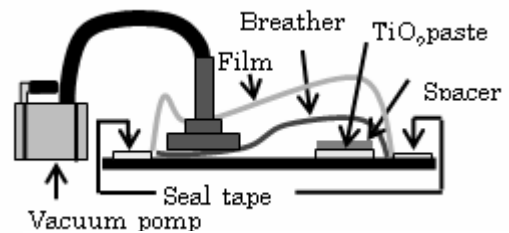


図1 低温低圧焼結装置

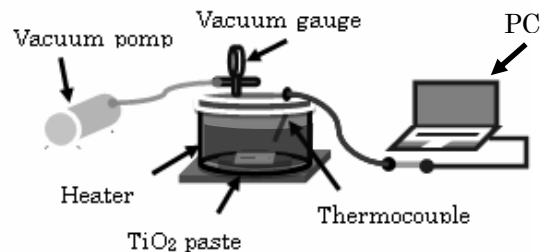


図2 真空チャンバーを用いた低温低圧焼結装置

従来型の実験装置と真空チャンバー型実験装置で低温低真空焼結（-80[kPa]、80[℃]）したTiO₂の表面構造を図3に示す。両方ともポリエチレングリコールの焼結が確認でき、多孔質化ができています。従来型は深度が深く、ポリエチレングリコールの消失が確認できた。これは、従来の方法は鉄板を型にして使用していたため、熱伝導性がよく、測定温度以上の熱が加わっていたものと思われる。チャンバー型においても深度は従来型までいかないものの、多孔質化に成功したと言える。

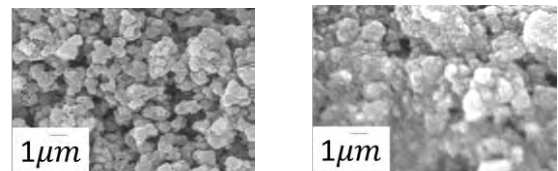


図3 従来（左）及びチャンバー型（右）のSEMによる表面形状比較

XRD の結晶構造を図4に示す。ピーク角が従来の方法と新たな方法ではほぼ同じ場所に生じているため同一の結晶構造であり、アナターゼ型の結晶構造である。発電特性の測定による結果は図

5となる。従来型の焼結方法を基準にし、チャンバー型の焼結方法の発電効率は減少しているのが、SEM時と同様の現象が生じているためと考えられる。そのため、焼結温度の最適化により解決できる可能性が高い。そのため、チャンバー型低温低真空焼結装置の開発に成功したといえる。

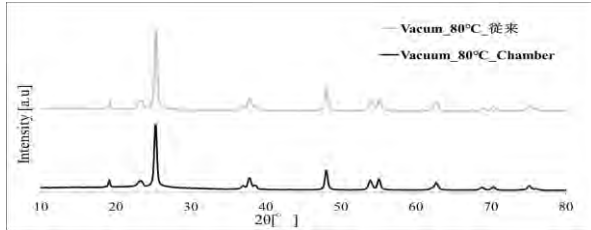


図 4 XRD 比較

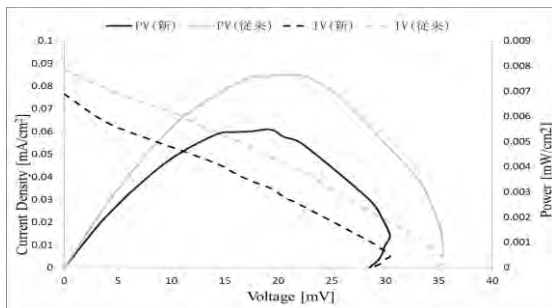


図 5 IVおよびPV比較

②結晶構造及び画像から発電効率低下の原因検討
真空度を $-80[\text{kPa}]$ 、焼結温度を $80[^\circ\text{C}]$ と $120[^\circ\text{C}]$ にした時の XRD による結晶構造が図 6 になる。どの焼結条件も同じピーク角で最大ピークがあることを確認でき、アナターゼ型の結晶構造であると言える。表面 SEM と断面 SEM が図 7 である。焼結温度が上昇するにつれ TiO_2 の粒径が肥大化する傾向がみられた。また、大気圧下で焼結を行った試験片と比べ、焼結体内部に隙間が発生し、電子の移動が阻害されやすくなったと考えられる。断面 SEM から、焼結温度が $80[^\circ\text{C}]$ から $120[^\circ\text{C}]$ にかけて粒子同士が結合し、薄膜表面の凹凸がなだらかに焼結していく傾向が確認できた。これにより、 TiO_2 の密度が変わり効率が変動したと考える。これらの原因が作用し、発電効率の減少が生じたと言える。

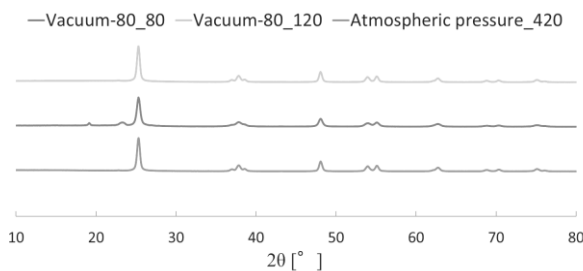


図 6 XRD による結晶構造比較

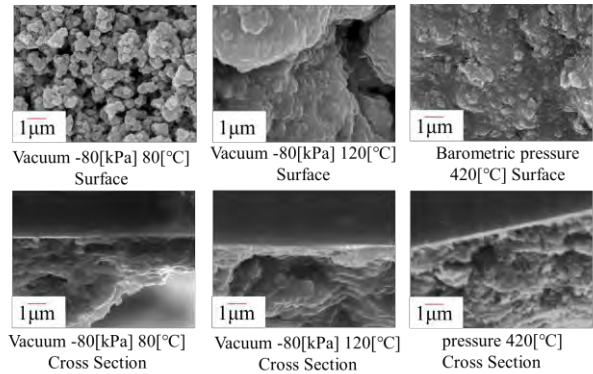


図 7 SEM による表面形状比較

③低温低真空焼結装置による円環型 DSC の開発
真空チャンバー実験装置において TiO_2 の焼結を行い、円環形状 DSC を作成した。ITO-PEN フィルムを電極に使用し、設計ソフトおよび 3D プリンタにより円環形状を設計・出力 (図 8、9) を行った。その結果、図 10 の IV・PV カーブが得られ、円環型 DSC の開発に成功した。しかしながら、FF が 0.1、変換効率は 0.1 % 台という結果が得られた。効率低下の原因として、正極と負極の ITO フィルム間の不均一性、色素吸着時における TiO_2 の剥離、光源から発生する熱による電解液の揮発などにより、効率の低下が発生したものであると思われる。特に色素吸着時に剥離が発生し、ITO 上に不安定な固定状態であることが確認された。剥離は FTO ガラスよりも顕著のため、 TiO_2 焼結時に ITO の成分が反応し、電極への固定化が阻害された可能性が高い。

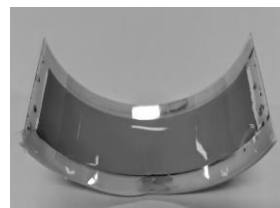


図 8 色素吸着



図 9 円環型 DSC

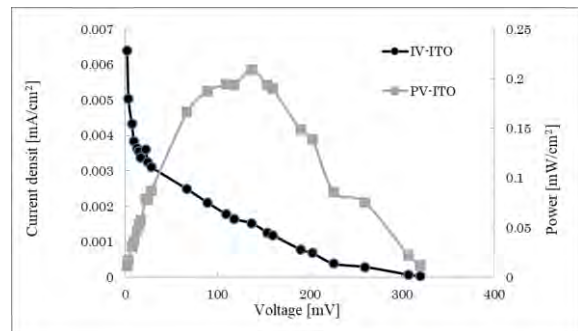


図 10 円環型太陽電池の IV 及び PV 特性

④低温低真空TiO₂焼結をしたペロブスカイト太陽電池

真空チャンバー実験装置においてTiO₂の焼結を行い、PSCの作成を行った。ペロブスカイト層はXRDを用いて結晶構造を測定した(図11)。今回作製した試験片最大ピーク角はそれぞれ $2\theta = 14.12[^\circ]$ 、 $28.5[^\circ]$ 、 $31.92[^\circ]$ となりペロブスカイトの結晶構造と一致した。SEMによりペロブスカイト層の表面形状の観察では、ペロブスカイト溶液の焼結は黒い空間が多数見られ焼結面は不均一性が確認できた(図12)。このことからペロブスカイト層の不均一性から光の吸収率が低下し発電効率が低下したと考える。また、P-V、I-V特性の測定を行った結果(図13)、PSCの発電が確認できたが、低温低真空焼結によるPSCは高温焼結PSCに対して発電効率は80.2[%]減と著しい減少という結果になった。今後ペロブスカイト層の均一性向上やTiO₂焼結時の焼結条件の最適化が必要である

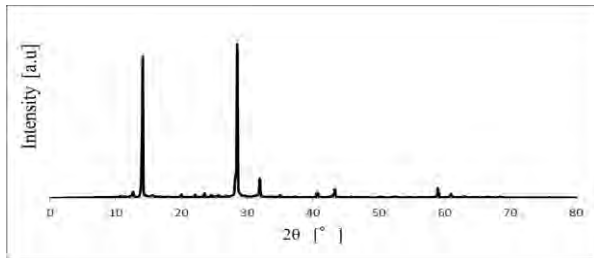


図11 ペロブスカイト層のXRD結果

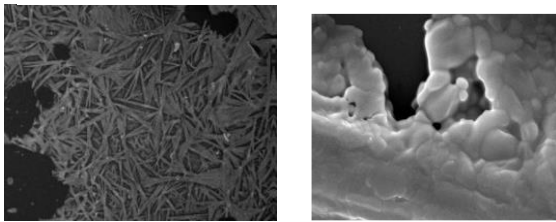


図12 50倍レンズ(左)及び100倍レンズ(右)での観察

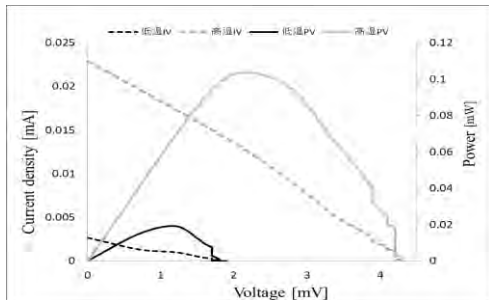


図13 PSCのI-V及びP-V特性

3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計4件)

1. 井組裕貴, 藤澤圭祐: “円環型色素増感太陽電池の試作”, 第80回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 査読なし(2019-9)
2. 八木貫太, 井組裕貴: “真空バギング法におけるTiO₂の焼結状態の観察”, 第80回応用物理学会秋季学術講演会予稿集, 査読なし(2019-9)
3. 田中皇弥, 井組裕貴: “真空バギング法を用いたペロブスカイト太陽電池の提案”, 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 査読なし(2019-12)
4. 藤澤圭祐, 井組裕貴: “色素増感太陽電池における焼結方法に関する研究”, 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, 査読なし(2019-12)

課題研究費実績報告書

令和2年 3月 31日現在

研究課題名：カメラの状態変化に適応可能な距離計測手法に対する精度評価

研究代表者：宇都木 修一

小区分：知覚情報処理関連

1. 研究計画の概要

画像を用いた計測には、レーザーなどを用いた能動的な計測に比べ、計測可能な距離の範囲が大きいという利点がある。さらに、画像を用いることで点ではなく面による計測をおこなうことができるので、複数の物体までの距離を同時に計測できるという利点がある。特にカメラのズーム機能を用いることでより遠方の物体に対する精密な計測が期待できる。

正確な画像計測をおこなうためには、カメラの向き、位置、焦点距離などのカメラパラメータを求めるキャリブレーションの性能が重要となる。特に、カメラが望遠状態にあるときには、わずかなカメラの回転が、撮影される画像に多大な変化を及ぼす。本研究では消失点を利用することにより、正確に回転量を求めることのできるキャリブレーション手法を開発している。そこで、このキャリブレーション手法を用いて、向きや望遠倍率などのカメラの状態が変化したときのカメラパラメータを求め、各々の状態において計測した距離の精度の検証をおこなうこととした。

また、カメラの状態は連続的に変化するが、全ての状態に対して逐一キャリブレーションをおこなうには、膨大な作業が必要となる。そこで、まず代表的な状態に対してのみキャリブレーションをおこない、その変化を多項式に当てはめた。そうすることで、キャリブレーションをおこなっていない状態のパラメータも、その多項式から推定することで得られるようにし、推定したパラメータを用いた際の画像計測の精度について検証をおこなうこととした。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究では Panasonic 製の BB-SC384B ネットワークカメラに対して、まず、望遠倍率を変化させてキャリブレーションをおこなった。

BB-SC384B は 18 倍までの光学ズームが可能で

あるが、本研究では 1 倍～7 倍までの範囲で検証をおこなった。BB-SC384B はズームパラメータを変化させることで望遠状態を変化させることができ、0.0033, 0.0065, 0.0100, 0.1350, 0.0166, 0.0201, 0.0233 の 7 段階変化させることで、倍率を 1～7 倍まで変化させた。また、消失点を用いたカメラキャリブレーションでは、カメラの光軸方向に正確に移動するサンプル平面が必要となるが、電動アクチュエーターを用いることで、このサンプル平面をミリメートル単位で正確かつ自動で移動させることとした。

また、サンプル平面の撮影はいずれの望遠状態でも同様の画像が得られるように、望遠倍率が低い場合は、近い距離から間隔も詰めて、望遠倍率が高い場合は、遠い距離から間隔を開けてサンプル平面を移動させるようにした。具体的には望遠倍率が 1 倍の時はカメラとサンプル平面の距離を 168[mm] から 258[mm] まで 3[mm] 刻みで変更しながら 31 回撮影し、望遠倍率 7 倍のときは、1460[mm] から 2030[mm] まで 19[mm] 刻みで変更しながら 31 回撮影した。

撮影したサンプル平面の画像を用いてカメラキャリブレーションをおこない、得られたカメラパラメータのズームパラメータに対する変化を表したグラフが図 1 から図 4 である。それぞれ、焦点距離 f_u 、レンズ歪み k 、光軸方向の移動量 T_z 、横方向の移動量 T_x の変化である。得られたパラメータはばらつきが少なく、多項式への当てはめが可能であった。図 1 から図 4 における曲線はパラメータの変化に対して 2 次関数を当てはめた結果である。

キャリブレーションで得られたカメラパラメータを用いてステレオ視による距離計測をおこなった結果を示す。矩形の書かれた平面をカメラから 1[m], 3[m], 5[m], 10[m] の距離に置き、

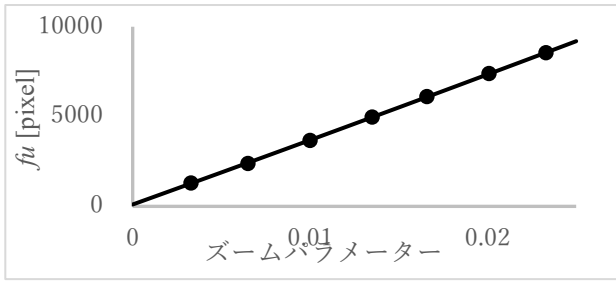


図1 焦点距離の変化

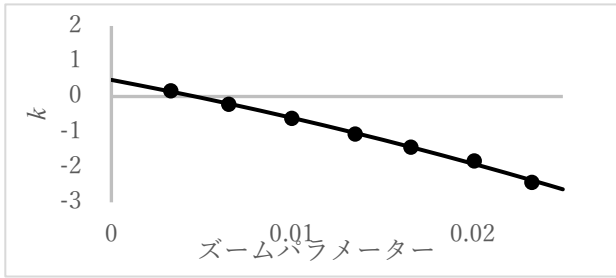


図2 レンズ歪みの変化

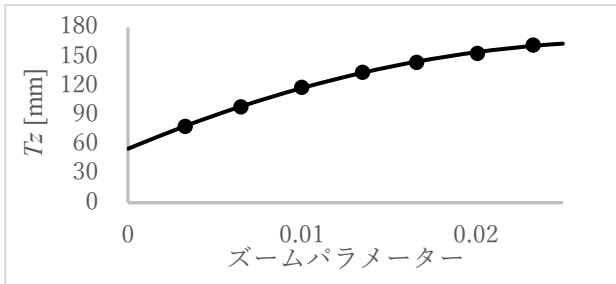


図3 光軸方向の移動量の変化

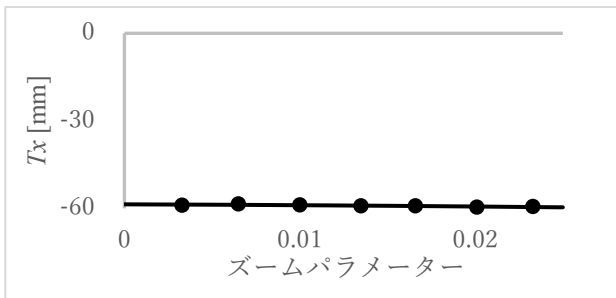


図4 横方向の移動量の変化

それぞれの望遠倍率のときにカメラから矩形の頂点までの光軸方向の距離を4回計測し、その相対誤差の平均値を求めた。得られた結果を表1にまとめる。倍率2倍以上の場合、距離5[m]までであれば、おおむね相対誤差1[%]以内を達成している。また、距離10[m]の場合でも、倍率を上げるほど誤差が小さくなるという傾向が見られた。一方で、倍率1倍の時は距離3[m]以上の場合、誤差も大きくなっていくが、これは、倍率が低いために量子化誤差の影響が大きくなるためである。

表1 距離計測の相対誤差

		距離			
		1[m]	3[m]	5[m]	10[m]
倍率	1倍	0.72[%]	1.50[%]	2.30[%]	3.33[%]
	2倍	0.38[%]	0.58[%]	1.08[%]	2.07[%]
	3倍	0.25[%]	0.41[%]	0.55[%]	2.42[%]
	4倍	0.23[%]	0.25[%]	0.59[%]	1.51[%]
	5倍	0.45[%]	0.23[%]	0.45[%]	1.13[%]
	6倍	0.63[%]	0.30[%]	0.83[%]	1.95[%]
	7倍	0.76[%]	0.35[%]	0.40[%]	0.95[%]

表2 推定値を用いた距離計測の相対誤差

		距離			
		1[m]	3[m]	5[m]	10[m]
倍率	1倍	2.47[%]	2.84[%]	2.98[%]	4.18[%]
	2倍	0.23[%]	0.65[%]	1.37[%]	1.57[%]
	3倍	0.53[%]	0.76[%]	1.56[%]	3.08[%]
	4倍	0.37[%]	0.37[%]	0.35[%]	1.01[%]
	5倍	0.64[%]	0.50[%]	0.56[%]	0.78[%]
	6倍	0.43[%]	0.29[%]	0.56[%]	1.19[%]

例えば、倍率1倍で距離10[m]に対する計測をおこなった場合は、視差が1[px] ずれるだけで6[%]近い誤差が出ることになる。

次に、あてはめた多項式から推定したカメラパラメータを用いて、距離計測をおこなった結果を表2に示す。表1と比較すると、誤差わずかに大きくなる傾向が見られるが、多項式からカメラパラメータを得た場合でも、十分に正確な計測ができており、多項式のあてはめによるカメラパラメータの推定も、有効に機能するという結果が得られた。

本研究により、消失点を用いたカメラキャリブレーション手法を用いることで望遠倍率を変化させた場合においても、十分な距離計測をおこなえることが確認できた。カメラの向きを変化させた場合に対する調査については今後着手する予定である。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕 (計1件)

- [1] 宇都木修一, 鈴木寿, 情報処理学会第82回全国大会講演論文集, 査読無, Vol.2, pp.69-70.

研究課題名：脈波計を用いた心疾患の予防に関する研究

研究代表者：吉田 慧一郎

小区分：計測工学関連

1. 研究計画の概要

左右上肢の慢性的な 10 [mmHg] 以上の収縮期血圧差が心血管疾患による死亡リスクと有意に関連していることが Clark らによって報告されている¹⁾。また、このような血圧差を有する場合には鎖骨下動脈の狭窄が考えられるが、心疾患予防として、日常生活でカフ型血圧計を用いて毎日左右上肢の血圧差を測定するのは負担が大きい。本研究では、計測が容易な PPG(Photoplethysmogram) を用い、鎖骨下動脈に狭窄を有しているか否かの判別を行い、鎖骨下動脈に狭窄を有している場合には医療機関へ連絡を行うクラウドシステムの構築を目指す。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究では、PPGを用いた鎖骨下動脈狭窄の有無を判別するために、鎖骨下動脈と関連のある PPG の特徴量を調査した。また、提案手法の計測精度を明らかにするために、左右の収縮期血圧の左右差を用いた既存の手法と提案手法の健常者に対する計測精度の比較を行った。提案手法の計測精度については、既製品である透過型 PPG センサモジュールと自作した反射型 PPG センサモジュールで比較を行った。以下に項目別に今回行った実験の詳細を示す。

実験①：狭窄と関連のある PPG の特徴量の調査

本実験では、鎖骨下動脈における狭窄と関連のある PPG の特徴量を調査するために、被験者を慢性的な収縮期血圧差を有する者 (80 代女性 1 名) と有さない者 (20 代~50 代の男女 5 名) の 2 つの集団に分け、前者を group1、後者を group2 として、それぞれにおいて収縮期血圧および PPG の特徴量に有意な左右差が見られるかを t 検定によって調べた。この際、80 代女性は再現性をもって 10 [mmHg] 程度の収縮期血圧の左右差を確認できたため、慢性的な収縮期血圧差を有する者に区分した。また、本実験では、自作した左右指尖部の

PPG を同時計測可能な反射型 PPG センサモジュールを用いて、左右指尖部の PPG を約 16 秒間取得した。センサ部には緑色光の反射型 PPG センサ (BH1790GLC ローム社) を使用した。自作した反射型 PPG センサモジュールを図 1 に示す。

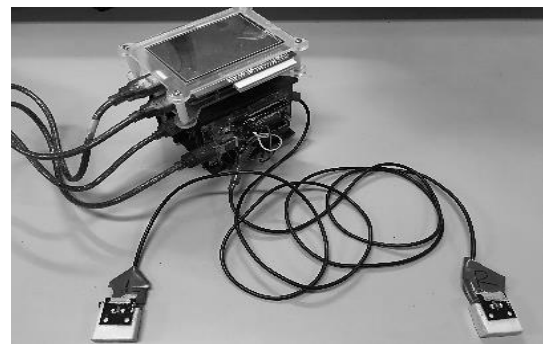


図1 自作した反射型 PPG センサモジュール

本実験では PPG の特徴量である、PPG の振幅値、PPG の立ち上がり時間、PPG の平均値から振幅値を割った値、心拍数、VPG-PPG (Velocity photoplethysmogram) ピーク間時間、APG(Acceleration photoplethysmogram) の a~e 波の振幅値および b~e 波と a 波の比、および収縮期血圧についてそれぞれ左右で有意差検定を行い、group1 のみで有意差が見られる特徴量を調べた。その結果、group1 においては収縮期血圧に左右で有意差が見られた ($p < 0.001$) が、group2 においては有意差が見られなかった ($p > 0.05$)。一方で、PPG の特徴量で有意差が見られたのは、APG-b 波高、APG-e 波高、APG-b 波高を APG-a 波高で割った値 (APG-b/a)、APG-e 波を APG-a 波で割った値 (APG-e/a)、および APG-PPG ピーク間時間の平均値であった。各被験者左右の収縮期血圧の平均値を図 2 に示し、group1 のみにおいて左右で有意差が見られた特徴量の平均値について図 3~図 7 にそれぞれ示す。

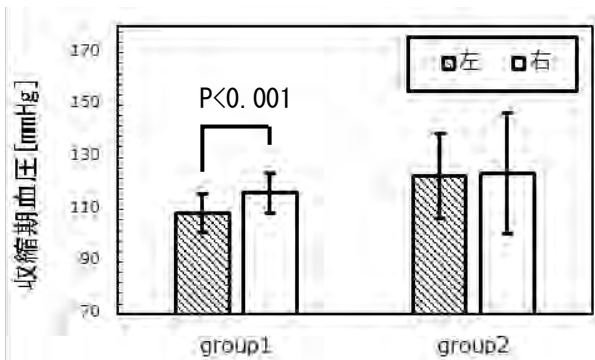


図2 各被験者区分の左右収縮期血圧の平均値

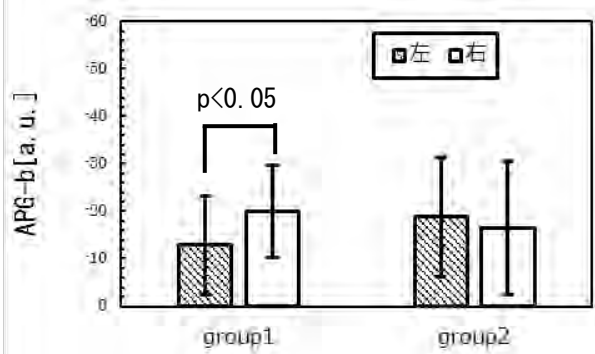


図3 各被験者区分の APG-b 波高の平均値

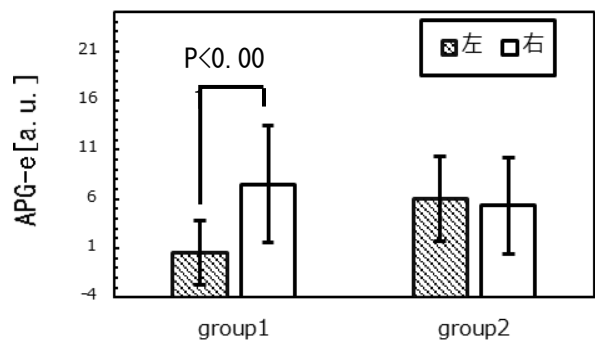


図4 各被験者区分の APG-e 波高の平均値

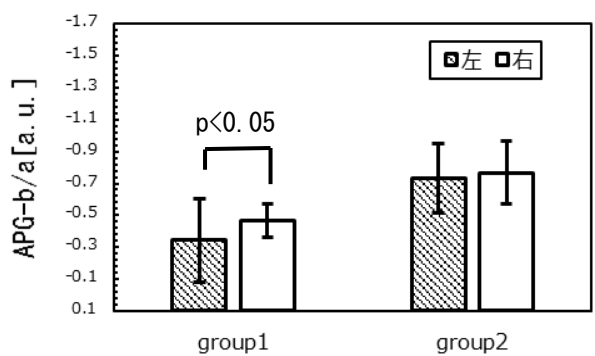


図5 各被験者区分の APG-b/a の平均値

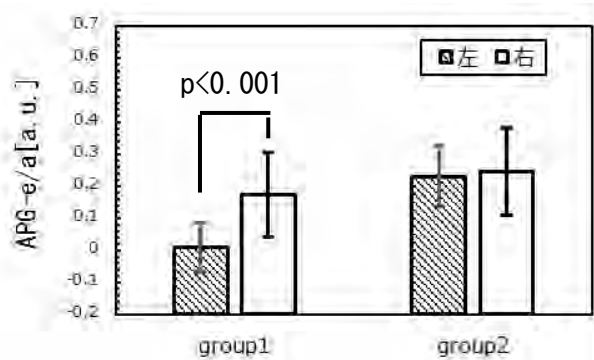


図6 各被験者区分の APG-e/a の平均値

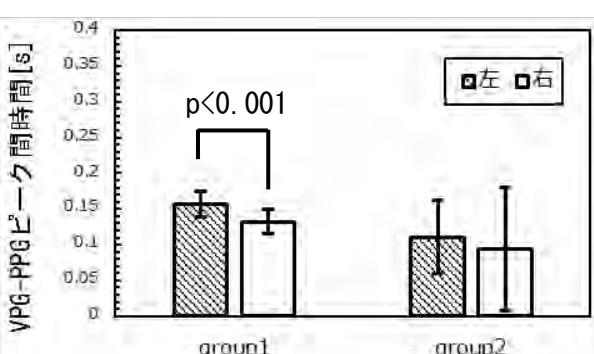


図7 各被験者区分の VPG-PPG ピーク時間の平均値

このことから、group1において左右で有意差が見られた5つの特徴量は、鎖骨下動脈における狭窄と関連があり、狭窄の早期発見に有用な指標となりうる事が示唆された。しかしながら、本実験は少ない被験者数で行ったため、本実験で明らかとなった5つの特徴量を用いて狭窄の有無をどれほど正確に判別できるかが明らかとならなかった。そこで、本研究では、健常者を対象とした場合における計測精度を明らかにするための検討を行った。

実験②：健常者を対象とした場合における提案手法と既存手法の計測精度の比較検討

本実験では、20代男性1名に対して、図1に示した自作した反射型PPGセンサモジュールと既製品である透過型PPGセンサモジュール(IWS920 東京デバイセズ)を用いて異なる日時で11回の左右指尖部のPPGの計測および左右上腕での血圧計測を実施し、被験者の条件を一定にした際の計測結果のばらつきから2種類のPPGセンサモジュールと既存手法の計測精度を比較することで、提案手法を同一ユーザーが使用することを想定した場

合において、既存手法を上回る精度での計測が行えるかを検討した。また、20代~50代の狭窄を有さない健常な男性12名(20代男性8名、30代男性2名、40代男性1名、50代男性1名)に対して左右指尖部のPPGを計測した後に、左右上腕での血圧計測を実施し、その計測結果のばらつきを比較することで、異なる使用者に対して提案手法が従来手法を上回る精度で適用することが可能であることを検討した。本実験では、実験①で明らかとなった狭窄の早期発見に有用であると考えられる5つの特徴量を計測対象とし、計測精度の比較を行うにあたって、ばらつきの度合いを表す変動係数を用いた。健常な同一被験者(20代男性1名)に対して異なる日時で提案手法および既存手法を用いて計測を行った場合の変動係数を図8に示し、20代~50代の異なる被験者に対して異なる日時で提案手法および既存手法を用いて計測を行った場合の変動係数を図9に示す。

図8より、同一の被験者を対象とした計測では、既存手法に対し、反射型、透過型共に変動係数が全ての特徴量において下回っていることが分かる。また、図9より、異なる被験者に対して提案手法を適用した場合には、既存手法の変動係数を下回

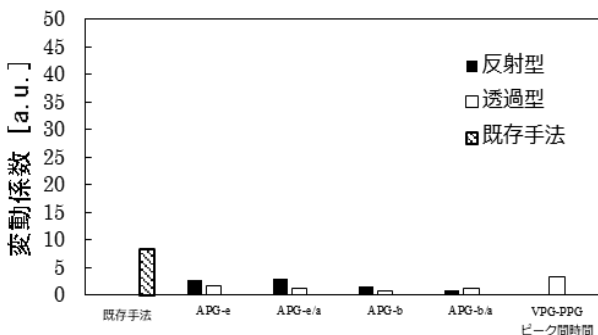


図8 健常な同一被験者を対象として計測を行った場合の変動係数

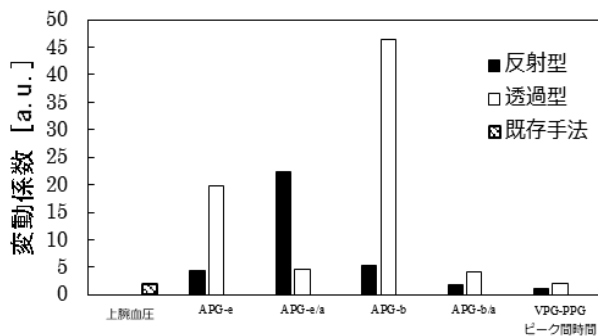


図9 健常な異なる被験者を対象として計測を行った場合の変動係数

った特徴量は、APG-b/a およびVPG-PPGピーク間時間のみであった。このことから、提案手法は同一ユーザーを対象として適用することが望ましいと考えられる。図8より、同一被験者を対象として計測を行った場合、反射型PPGセンサモジュールと透過型PPGセンサモジュールの変動係数に大きな差は見られなかった。したがって、提案手法には、より簡便に計測を行う事が可能な反射型PPGセンサモジュールを使用することが望ましいと考えられる。

3. 達成度および展望

本研究では、実験①として鎖骨下動脈における狭窄の早期発見に有用な指標となりうる特徴量が明らかとするための検討を行った。その結果、APG-b波高、APG-e波高、APG-b/a、APG-e/a、およびVPG-PPGピーク間時間で慢性的な収縮期血圧差を有する被験者においてのみ有意な左右差が見られたことから、これらの特徴量は鎖骨下動脈における狭窄の早期発見に有用である可能性が示唆された。実験②より、提案手法は同一の個人を対象として適用することが望ましく、センサにはより簡便に計測を行える反射型を用いる事が望ましいという事が明らかとなった。しかしながら、実験②では健常者のみを対象として実験を行ったため、実際に狭窄の有無判別をどれほどの精度で行えるかまでは明らかとなっていない。そのため、現在は実験①で明らかとなった5つの特徴量を用いて、鎖骨下動脈で疑似的に狭窄を再現した場合において狭窄の有無の判別を行う事が可能であるかの検討を行っている。今後は姿勢などの計測条件によって計測精度に差異が生じるかを検討するとともに、医療機関と計測結果を共有するためのクラウドシステムの構築を行っていく予定である。

4. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計1件)

- 1) 三宅慶実, 吉田慧一郎, 「脈波計を用いた心疾患の予防に関する研究」, サレジオ工業高等専門学校研究紀要, 査読あり第51号(投稿中)

[学会発表] (計2件)

- 1) 三宅慶実, 吉田慧一郎, 「脈波計を用いた心疾患の予防に関する研究」, 日本福祉工学会第22回学術講演会, 査読なし

- 2) 三宅慶実，吉田慧一郎，「光電容積脈波による鎖骨下動脈狭窄症の早期発見のための指標の検討」，第2回日本未病システム学会総会
査読なし

参考文献

- 1) Christopher E Clark et al， “Inter-arm blood pressure difference and mortality: a cohort study in an asymptomatic primary care population at elevated cardiovascular risk”，British Journal of General Practice， 66(2016)646

課題研究費実績報告書

令和2年3月31日現在

研究課題名：LPWA ネットワークを用いた沿岸環境観測用遠隔監視システムの構築

研究代表者：吉田 将司

小区分：情報ネットワーク

1. 研究計画の概要

港内の河口域近辺は、沖合からの潮汐の変動や、河川からの淡水の流入による特異な海流が形成されている。これら海流の解明は災害予測や漁業など、幅広い分野での貢献が期待されている。しかし、実時間的に変動する海流や潮流を詳細に把握するシステムは現在確立されていない。研究代表者らはこれまで沿岸域を多点多層観測する為に、富山新港内で沿岸センサネットワークの構築を行ってきた。昨年度はLPWA規格の無線モジュールを導入し、観測範囲の広域化を実現した。さらに多点多層での観測に成功し、沿岸域環境における表層別の水温変化を電子地図上でリアルタイム表示できる地理情報システムが構築できた。そこで本研究は、さらなる広域化と可視化を目的として、複数のLPWA基地局からの情報をWeb Serverで集約し、遠隔監視可能なシステムを構築する。またその運用試験を新たに瀬戸内海の周防大島で実施することにより、効果測定を行う。

これまでの研究成果により、無線センサネットワークを用いて沿岸域の多点多層における海中情報の時間変動を観測する技術が得られた。本研究期間ではこの技術をさらに洗練・充実させつつ、以下の内容を実施する。

- ①周防大島における海水温の時刻変動特性の観測
- ②複数のLoRaWANゲートウェイを用いた観測地点の広域化

まず①では、9月に研究協力者が在籍する大島商船高専のある、周防大島において海水温の観測実験を実施する。干満の差が大きい瀬戸内海での時刻変動特性を観測し、昨年まで実施していた同時期の富山の場合と比較する。次に②では、LoRaWANゲートウェイ（基地局）を複数個所設置し、インターネット回線を用いてさらに広域的な観測試験を実施する。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

- ①周防大島における海水温の時刻変動特性の観測

図1は夏季におけるノードBの水温変動と、気温・潮位との比較結果を示す。左図が気温との比較、右図が潮位との比較である。図中の破線がそれぞれ気温、潮位である。この図から、夏季は潮位よりも気温の影響が大きいことが示唆される。しかし気温が低下した場合、潮位変動の影響が若干見られた。気温の影響が大きい原因として、観測期間中は晴れて日射が強く気温が上昇し、水温も上昇したためだと考えられる。図2は冬季におけるノードAの水温変動と、気温・潮位との比較結果を示す。左図が気温との比較、右図が潮位との比較である。図中の破線がそれぞれ気温、潮位である。冬季は夏季と異なり潮位が大きく影響している。しかし表層部の0.2mで一部気温の影響を受けていた。また冬季の水温変動は潮位が低い時に、表層（0.2m）と中層（1.0m）の水温差が拡大した。これらの結果から、周防大島汽水域における海水温の季節変動特性は一般的な傾向と一致していることが確認できた。

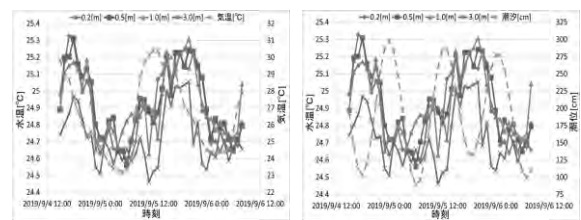


図1 ノードB（夏季）の水温と気温（左）及び潮汐（右）

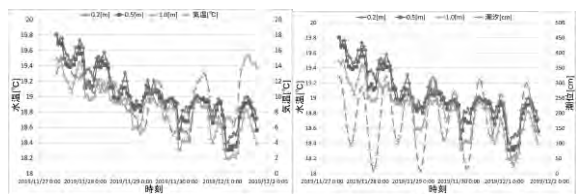


図2 ノードA（冬季）の水温と気温（左）及び潮汐（右）

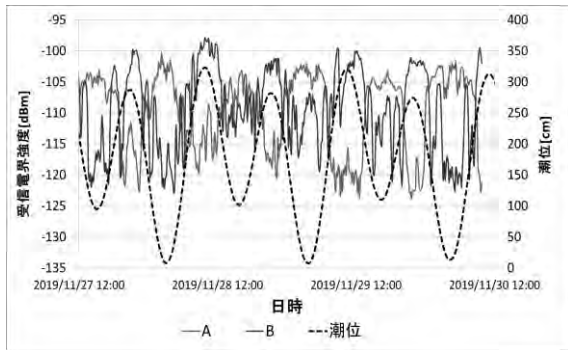


図3 冬季における各ノードからの受信電界強度

図3は冬季の基地局における受信電界強度特性を示す。図中の破線は潮位である。冬季の受信電界強度は潮位の周期で増減する傾向が顕著に見られた。この理由は2波モデルで説明できる。受信アンテナが固定されているのに対し、送信アンテナ高さが変動するためである。またAとBが逆相関係を示しているが、これは距離の違いによる偶然と考えられる。この図から、1日の受信電界強度が20dB以上変動しているため、観測システムの回線設計時のマージンは20dB程度必要であることが判明した。さらに遠距離にノードを設置する場合には、中継器を加えたマルチホップが必要であると考えられる。また夏も受信電界強度は同じような傾向を示したが、冬季ほど変化していなかった。以上の結果から、富山と同様に、季節や設置場所の違いにより、水温変動の傾向が変化することが確認できた。しかし、富山よりも潮汐差が大きいいため、その傾向が大きく表れていた。

②複数のLoRa WANゲートウェイを用いた観測地点の広域化

図4は観測システムの構成を示す。このシステムは複数のノードと基地局及び監視局で構成されている。ノードからGPSの位置、時刻及び水深別の水温のデータを基地局へ送信し、基地局の受信システムによりファイル出力のための変換処理を行う。処理したデータは受信システムの画面上に表示される。そして同時にファイル出力を行う。基地局で出力したファイルはサーバーにアップロードされる。ファイルは監視局上でブラウザ上に表示及びダウンロードできる。以上の手順により、本システムはノードから送信された位置情報と水温のデータ処理を行い、リアルタイムでデータ表示が可能である。またLoRa WANは複数の基地局

が設置可能であり、監視局で異なる基地局からの情報を同時に表示することができる。

本システムは複数の場所での測定及び遠隔監視を想定しているため、基地局の数が多くなる。そこで今回は複数の基地局でのデータ取得実験を行った。図5は今回の実験で構成した構成図である。ノードからテストデータを基地局に送信しそこから保存用phpファイルへPOST通信を行い、DBに保存する。そして表示用phpでデータ表示を行っている。

図6は表示用phpファイルの表示結果である。保存用phpファイルを基地局ごとに分けることで基地局間では混信がなくデータの受信を行うことができた。

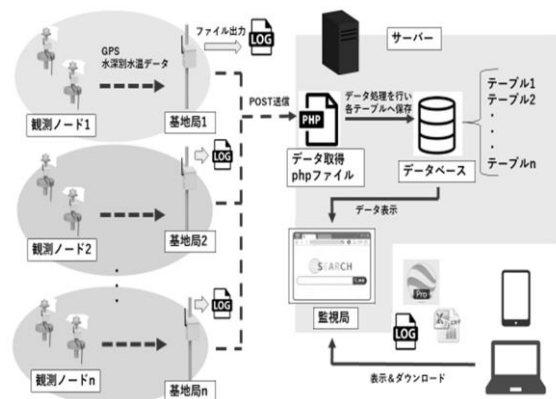


図4 観測システムの構成図

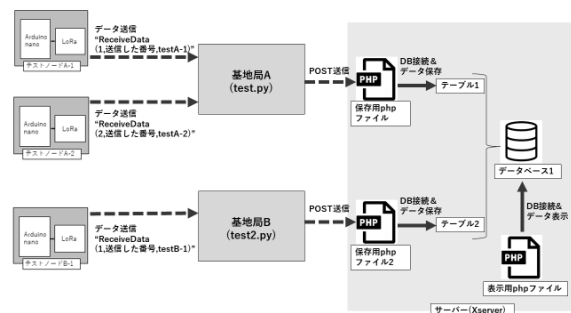


図5 実験構成図

1,Receive Data(1,9,testA-1)	1,Receive Data(1,39,testB-1)
2,Receive Data(2,41,testA-2)	1,Receive Data(1,40,testB-1)
1,Receive Data(1,10,testA-1)	1,Receive Data(1,41,testB-1)
2,Receive Data(2,42,testA-2)	1,Receive Data(1,42,testB-1)
1,Receive Data(1,11,testA-1)	1,Receive Data(1,43,testB-1)
2,Receive Data(2,43,testA-2)	1,Receive Data(1,44,testB-1)
1,Receive Data(1,12,testA-1)	1,Receive Data(1,45,testB-1)
2,Receive Data(2,44,testA-2)	1,Receive Data(1,46,testB-1)

図6 観測システムの構成図

以上の実験結果から、POST通信を用いた方法により、遠隔でのデータ取得のリアルタイム化が可能となった。また取得実験により複数の基地局からのデータ取得も確認できた。しかし、以前より課題となっている学内ネットワーク環境下でのデータアップロードができなかった。今後の予定としては学内環境下でのネット接続の対策を行う。

3. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕（計2件）

- [1] 柴田健吾, 吉田将司, “センサネットワークにおけるオンラインシステム構成の検討”, 電気学会次世代産業システム研究会, 査読無, IIS-19-059, Nov, 2019 .
- [2] 吉田将司, 柴田健吾, 千葉元, “周防大島汽水域における海水温観測システムの検討”, 電気学会知覚情報 / 次世代産業システム合同研究会, 査読無, IIS-20-049, Mar, 2020 .

〔学会発表〕（計1件）

- [1] 菊地将矢, 吉田将司, 千葉元, “沿岸センサネットワークによる周防大島の観測”, 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, Dec, 2019.

課題研究費実績報告書

令和2年3月27日現在

研究課題名：アジア太平洋地域における「保護する責任」規範の伝播に関する研究

研究代表者：宮下大夢

小区分：国際関係論関連

1. 研究計画の概要

本研究では「保護する責任（Responsibility to Protect）」概念の伝播に焦点を当て、アジア太平洋地域における「虐殺予防ガバナンス」の構築について考察した。「保護する責任」は大量虐殺などの深刻な人権侵害・人道危機に対する国際社会の対応を見直すために2001年に提唱され、2005年に国連総会で承認された規範的概念である。直近の事例では、2017年8月にミャンマー軍によって少数民族ロヒンギャへの虐殺が行われ、70万人以上の難民が隣国バングラデシュに流出する深刻な人道危機が発生した。国際連合が中心となって積極的に虐殺の予防・対応に取り組み始めたのは冷戦終結以降であり、21世紀の世界では効果的な「虐殺予防ガバナンス」の構築が重要な課題となっている。

本研究では、以下の3つのフェーズに分けて研究を計画した。第1フェーズでは、アジア太平洋地域の市民社会組織（研究機関および非政府組織）が「保護する責任」と虐殺予防の推進を目的に設立した「虐殺予防のためのアジア太平洋パートナーシップ（Asia Pacific Partnership for Atrocity Prevention: APPAP）」の設立過程を分析する。第2フェーズでは、2019年8月にジャカルタで開催されるAPPAP年次総会に参加し、資料収集および聞き取り調査を実施し、設立以降のAPPAPの取り組みとその影響について考察する。第3フェーズでは、本研究の総括として2019年12月に東京大学で開催される「国際開発学会・人間の安全保障学会2019共催大会」にて研究成果を発表する。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

第1フェーズおよび第2フェーズでは、期待どおりの研究成果をあげることができた。第1フェーズでは文献調査を中心に行い、APPAPの設立において重要な役割を果たした市民社会組織に焦点を当て、どのような動機や目的があったのかを考

察した。第2フェーズでは、予定していたとおりジャカルタで開催されたAPPAP年次会議に参加し、APPAPの最新の取り組みに関する資料収集および関係者への聞き取り調査を実施した。

第3フェーズでは、上記の調査結果を踏まえて、なぜアジア太平洋地域の市民社会組織が国境を越えて連帯し「保護する責任」を推進しているのかについて考察した。本研究の成果は「国際開発学会・人間の安全保障学会2019共催大会」で報告することを予定していたが、同大会の「難民と教育」をテーマとするパネルセッションへの登壇を依頼されたため、他の学会等で報告を行う必要が生じた。そこで、2020年3月に東京大学で開催が予定されていた公開ワークショップ「地域から読み解く保護する責任」にて、本研究の成果を発表するように研究計画を変更した。しかし、新型コロナウイルスの感染拡大の影響で上記のワークショップの開催が延期されたため、研究会にて報告した。事態が収束した後に改めて報告を実施する予定である。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計1件）

1. Hiromu Miyashita, Ensuring Human Security of Refugees in Japan: HSF's Educational Support for Rohingya Children, 国際開発学会・人間の安全保障学会2019共催大会（国際開発学会第30回記念全国大会）2019年11月17日

〔著書〕（計1件）

1. 明石純一、宮下大夢、ゴメズ・オスカル「第12章 外国人」NPO法人「人間の安全保障」フォーラム編、高須幸雄編著『SDGsと日本一誰も取り残されないための人間の安全保障指標』明石書店、2019年、217-230頁。

研究課題名：減衰量を指定可能な阻止域可変 FIR フィルタの設計法の開発

研究代表者：宮田統馬

小区分：計測工学関連

1. 研究計画の概要

これまでに、申請者は高速高精度な計測を実現するために、阻止域の一部に高い減衰量を有し、かつ、阻止域の特性が可変なデジタルフィルタの設計法を提案してきた。加えて近年、さらなる計測制度の向上を狙って通過域に平坦特性を有する阻止域可変フィルタの設計法を開発した。しかしながら、これまでに提案してきた可変フィルタでは、高い減衰量を得るために直接的に減衰量を指定するのではなく、帯域にかける重みにより減衰量を制御していたために、狙った減衰量を得ることの難しさがあった。本研究では、高い減衰量の値を直接的に指定可能な阻止域の特性が可変な直線位相 FIR フィルタの設計法を開発を行うことを目的とする。具体的には、通過域・阻止域ともに等リプル特性を有する阻止域可変フィルタと、通過域平坦かつ阻止域が等リプルの阻止域可変フィルタの設計法の確立を行う。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究で扱うフィルタの所望特性を図1に示す。図に示すような阻止域の一部に高い減衰量を持たせることで、阻止域全体を高減衰量としたフィルタよりもフィルタリング時間を低減することが可能となる。さらに、高減衰量部分に存在するノイズなどの変化に対応するために、可変パラメータ ϕ 、 ψ 、 ν により、高減衰量の位置と大きさ（本研究では dB で与える）、さらに阻止域端周波数可変とする。ここで、この可変フィルタの理想特性は、

$$D(\omega, \nu, \phi, \psi) = \begin{cases} 1 & 0 \leq \omega \leq \omega_p \\ 0 & \nu \leq \omega \leq \phi \\ 0 & \phi < \omega < \phi + \tau \\ 0 & \phi + \tau \leq \omega \leq \pi \end{cases} \quad (1)$$

となる。

はじめに、高い減衰量の値を直接的に指定可能な通過域・阻止域ともに等リプルな可変フィルタの設計法について示す。両帯域が等リプルかつ、

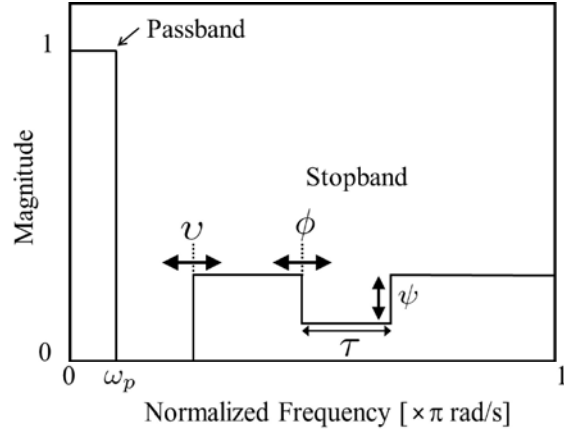


図1 理想特性

タイプ I の直線位相可変 FIR フィルタの振幅特性は、

$$H(\omega, \nu, \phi, \psi) = h(0, \nu, \phi, \psi) + 2 \sum_{i=1}^N h(i, \nu, \phi, \psi) \cos i\omega \quad (2)$$

$$h(i, \nu, \phi, \psi) = \sum_{l_\nu=0}^{L_\nu} \sum_{l_\phi=0}^{L_\phi} \sum_{l_\psi=0}^{L_\psi} g(i, \nu, \phi, \psi) \nu^{l_\nu} \phi^{l_\phi} \psi^{l_\psi} \quad (3)$$

と表せる。ただし $2N$ はフィルタ次数、また L_ν 、 L_ϕ 、 L_ψ は多項式次数、 g は多項式係数であり本設計法ではこの係数を求める問題に帰着される。また、式 (3) の可変パラメータは、各パラメータの値が振幅特性に反映されるように、元の値から -1 から 1 の範囲で正規化して与える。このとき、式 (2) の可変フィルタの設計問題は等リプル特性を得るために、ミニマックス近似とする必要がある。これまでの設計法では、誤差関数に重み関数を付与することで、高い減衰量を実現していた。しかしながら、その方法では狙った減衰量を得られない場合がある。そこで、本研究では、以下のような設計問題を考える。

$$\begin{aligned} & \min \lambda(\nu, \psi') \\ & \text{sub. to } e(\omega, \nu, \phi, \psi')^2 \leq \lambda(\nu, \psi') \\ & \quad \dots 0 \leq \omega \leq \pi, \nu \leq \omega \leq \phi, \\ & \quad \phi + \tau \leq \omega \leq \pi \\ & \quad e(\omega, \nu, \phi, \psi')^2 \leq \psi' \dots \phi < \omega < \phi + \tau \end{aligned} \quad (4)$$

ただし、 e は誤差関数、

$$e(\omega, \nu, \phi, \psi') = D(\omega, \nu, \phi, \psi) - H(\omega, \nu, \phi, \psi') \quad (5)$$

であり、 λ は最大許容誤差である。このとき、2つめの制約条件が高減衰量の値を直接指定するものである。ただし、理想特性が dB で与えられていないために可変パラメータ ψ [dB] は、可変できる範囲を ψ_{\min} から ψ_{\max} として、

$$\psi' \in [\psi'_{\min}, \psi'_{\max}] \quad (6)$$

$$\psi'_{\min} = 10^{\frac{\psi_{\min}}{20}}$$

$$\psi'_{\max} = 10^{\frac{\psi_{\max}}{20}}$$

と再定義する。最終的に本研究ではこの設計問題を半正定値計画問題として定式化を行う。

本方法を用いて設計を行い提案法の有効性を確認する。設計した可変フィルタの仕様は、フィルタ次数を $2N = 50$ 、多項式次数 $L_v = L_\phi = L_\psi = 2$ 、通過端域正規化角周波数 $\omega_p = 0.1$ 、阻止域端正規化角周波 $\nu = 0.19 \sim 0.21$ と設定した。また、高い減衰量部分を $\tau = 0.2$ 、可変パラメータを変化させる範囲を $\phi = 0.39 \sim 0.41$ 、 $\psi = -90 \sim -70$ とそれぞれ設定した。ここで、図 2 から 4 に提案法によって得られたフィルタの振幅特性を示す。これらの図より、図 1 に示すようなフィルタが設計できていることが確認できる。また、高い減衰量部分に注目すると、指定した減衰量が得られることが確認できる。

次に高い減衰量の値を直接的に指定可能な、通過域が平坦かつ阻止域が等リプル特性の非可変の FIR フィルタの設計法について述べる。低域通型特性を有する、このフィルタの振幅特性は、

$$H_0(\omega) = 1 - \left(\frac{1 - \cos \omega}{2} \right)^M H_1(\omega) \quad (7)$$

$$H_1(\omega) = h(0) + 2 \sum_{i=1}^N h(i) \cos i\omega \quad (8)$$

と表される。ただし、 $2N$ はフィルタ次数、 M は平坦度、 h はフィルタ係数を表す。また、式 (7) により通過域の特性は保証されているため、設計時は阻止域の近似を考えればよい。故に、前述の方法と同様に図 1 を理想特性としたとき、設計問題は高い減衰量部分を指定した減衰量を得られるように定義すると、

$$\begin{aligned} \min \lambda \\ \text{sub.to } e(\omega)^2 \leq \lambda \\ \dots \nu \leq \omega \leq \phi, \phi + \tau \leq \omega \leq \pi \\ e(\omega)^2 \leq \psi' \dots \phi < \omega < \phi + \tau \end{aligned} \quad (9)$$

定義できる。ただし、 λ は最大許容誤差である。加えて、 e は誤差関数であるが、このフィルタは上述のとおり、阻止域の特性のみを考慮すればよ

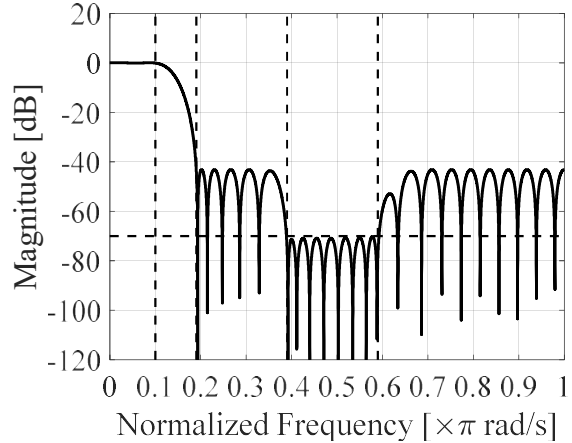


図 2 振幅特性 $\nu = 0.19$ 、 $\phi = 0.39$ 、 $\psi = -70$

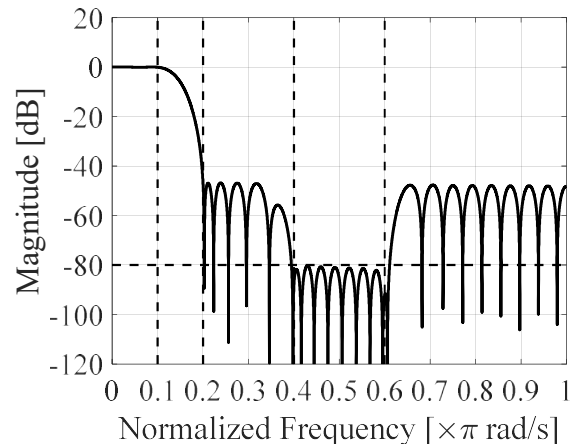


図 3 振幅特性 $\nu = 0.20$ 、 $\phi = 0.40$ 、 $\psi = -80$

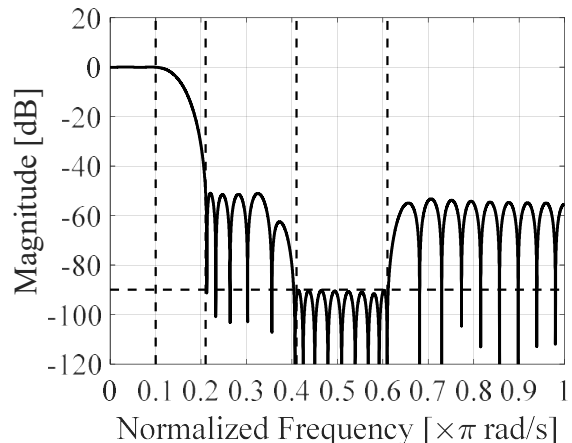


図 4 振幅特性 $\nu = 0.21$ 、 $\phi = 0.41$ 、 $\psi = -90$

く理想特性は零値となるため、式 (7) そのものとなる。ここで、2つめの制約条件が高減衰量の値を直接指定するものである。さらに本設計法も前述の方法と同様に半正定値計画問題として定式化を行う。

本方法を用いて次のような仕様の非可変フィルタの設計を行った。フィルタ次数を $2N = 40$ 、平

平坦度 $M=5$ 、阻止域端正規化角周波 $\nu=0.25$ と設定した。また、高い減衰量部分は $\tau=0.15$ とし、 $\phi=0.6$ 、 $\psi=-80$ とした。その振幅特性を図 5 に示す。図 5 より得られたフィルタは通過域が平坦で阻止域が等リプルの特性が得られていることがわかる。また阻止域の高減衰部分について指定の減衰量となっていることが確認できる。

現在、通過域平坦かつ阻止域等リプルの阻止域可変フィルタの設計法について上記の方法に基づき開発をほぼ完了させおり、設計結果について検証中の段階である。

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計 1 件）

- [1] Toma Miyata, Takahiro Natori , Naoyuki Aikawa , A Design Method for Linear Phase FIR Filters with Multiple Variable Factors in the Stopband and Specified High Attenuation, The 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON 2019) , 査読有, pp.43-47

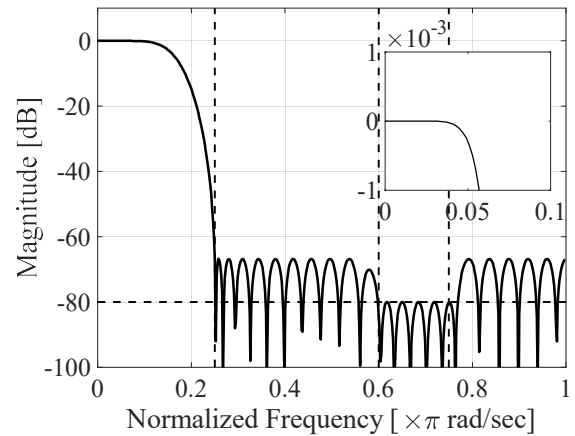


図 5 振幅特性

課題研究費実績報告書

令和2年3月26日現在

研究課題名：増淵恒吉の「確かな国語教育」論に関する研究

研究代表者：後藤志緒莉

小区分：教科教育学および初等中等教育学関連

1. 研究計画の概要

本研究の目的は、増淵恒吉の「確かな国語教育」論の生成過程と、戦後初期の高等学校の国語教育史における増淵の「確かな国語教育」論の意味を明らかにすることである。

増淵は、昭和32・33年頃を中心に「確かな国語教育」を主張していた。「確かな国語教育」論は、増淵の考える「国語教育」を明らかにする上で留意しておかなければならない主張であると考えられるが、これまでの研究で増淵の「確かな国語教育」について実証的に論じた研究は無い。増淵はなぜ「確かな国語教育」を主張したのか。また、「確かな国語教育」論は、増淵の国語教育論の全体と、戦後の高等学校の国語教育の歴史においてどのような意味をもつものであったのか。

本研究では、増淵の論考だけではなく、昭和31年の東京都立日比谷高等学校での授業の記録や、当時の日比谷高校の生徒の作成物を活用し、「確かな国語教育」論の生成過程と「確かな国語教育」論の歴史的な意味を明らかにする。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

増淵恒吉の「確かな国語教育」論の生成過程と戦後初期の高等学校の国語教育史における「確かな国語教育」論の意味を明らかにするために、今年度は以下の2点について検討を行った。

第一に、1950年代の増淵の授業実践と、当時の学習者が書いた感想文等の資料をもとに、増淵がどのような国語の授業を行っていたのかを実証的に明らかにした。

第二に、同時期の国語教育界の動向と、当時の国語教育の動向に関する増淵の言説をもとに、

1950年代の増淵の教育実践の特色とその後主張された「確かな国語教育」論とが関連するものであることを明らかにした。

上記の研究内容については、2019年7月の国語教育史学会で口頭発表を行い、その後、2019

年8月に全国大学国語教育学会が発行している研究誌（査読あり）に論文を投稿し、採択の成果を取ることができた。上記の論文は、2020年4月刊行予定の『国語科教育』第74集に掲載されることとなっている。

3. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕（計1件）

- [1] 後藤志緒莉, 戦後転換期における増淵恒吉国語教育の変容——昭和30・31年度頃の授業の変化を中心に——, 国語科教育第87集, 査読有り ※印刷中

〔学会発表〕（計1件）

- [1] 後藤志緒莉, 増淵恒吉の「確かな国語教育」論の生成過程に関する研究——昭和30・31年度の授業の変化を中心に——, 国語教育史学会第63回例会, 査読無し

課題研究費実績報告書

令和2年3月31日現在

研究課題名：炭素繊維強化熱可塑性プラスチックの母材結晶構造及び力学的特性
に及ぼす樹脂含浸の影響

研究代表者：坂口雅人

小区分：材料力学および機械材料関連

1. 研究計画の概要

近年、地球温暖化の改善のために温室効果ガス排出量の軽減が求められている。温室効果ガスの排出量削減手法の一つとして輸送機器の軽量化による燃費向上が挙げられる。このため、比強度、比剛性の高い炭素繊維強化プラスチック(CFRP)が輸送機器の構造材として注目されている。

本研究では成形性やコストの点から強化材に平織の炭素繊維、母材に熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)に着目した。従来の研究において、熱可塑性プラスチックは熔融粘度が低いために炭素繊維への含浸性が低く、また、母材となる樹脂の力学的特性は結晶化度や分子配向のような高次構造に依存することが報告されている。一方で、CFRTPのような複合材料において層間強度や曲げ強度において母材の力学的特性に依存することが報告されている。

従って、本研究課題の核心をなす学術的な「問い」として“CFRTPの含浸率は母材高次構造及び力学的特性にどのような影響を及ぼすのか”を設定した。この問いに答えるための基礎調査として、今年度は平織CFRTPの力学的特性に及ぼす結晶化度の影響について調査を行った。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

2-1. CF/PLA 複合材料の引張特性に及ぼす成形時の冷却速度及び熱処理の影響

2-1-1. 実験方法

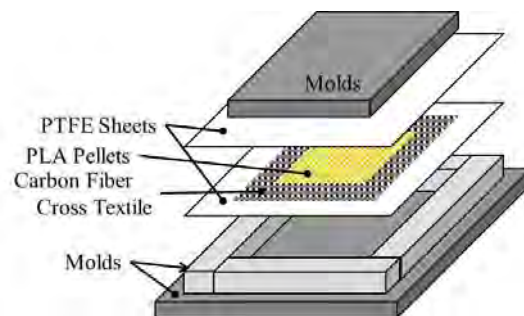
① 試験片成形

本研究ではフィラメント数3000本の炭素繊維束(トレカ糸(T300-3000, 東レ製))を用いた平織基材とポリ乳酸(PLA)(Ingeo3001D, (aturee(o oes製))を母材樹脂として用いた(CF/PLA板を成形した。使用したポリ乳酸の数平均分子量と重量平均分子量はそれぞれ約(7,000, 約(155000, ガラス転位点と融点はそれぞれ約(,3°C, 約(1,0°Cであった。このペレットは成形前に乾燥炉(FF-50,

太洋製))を用いて大気圧,(,0°Cで約(,時間以上絶乾された。

(CF/PLA板の成形は自作のホットプレスを用いた加熱圧縮成形により行った。常温の金型に(Fgg(1に示す様に(PTFシート,平織基材,ポリ乳酸ペレットを配置した。この金型をホットプレスにセットして成形温度まで加熱し,金型が成形温度に達したら成形圧力を負荷した。成形圧力を負荷した後,(,0°C以下になるまで成形圧力を維持し,冷却した。積層構成は(00fとし,繊維質量含有率約50(at,(110(aa×(110(aaの寸法で成形した。また,成形温度は200°C,成形圧力は(25(pp tとして成形を行った。

成形した(CF/PLA板における母材の結晶化度を変化させるために(2つの方法の比較を行った。一つは成形時の冷却速度の変更を行った。これはホットプレスの自然冷却による徐冷とホットプレス内部に水を流すことによる急冷の二種類を行った。もう一つの方法としてアニーリングを行った。アニーリングは成形した(CF/PLA板を常温の金型にセットし,ホットプレスを用いて熱処理温度(130°C)に加熱し,熱処理温度に達してから(000(ag静置することによって行った。



Fgg(1(Lt yoru(of PTF (eeu 0(æbon(fgææ(cæ (æxgle((n (PLA(pelleu (when CF/PLA(wt (a ol e

② 引張試験

成形した(CF/PLA板の力学的特性を調査するために引張試験を行った。試験片は(00(aa×(10(aa

の寸法に切り出され、タブとしてアルミニウム板が評価部長さが50(a a になるように接着された。試験機には万能試験機(AS -1000A , (II PA DU 製() を使用し、クロスヘッドスピード(0.5(a a /a gn で試験を行った。

③ 結晶化度測定

(CF/PLA 板の母材結晶化度を調査するために示差走査熱量測定(DC)を行った。試験機には示差走査熱量計(DC-00, (II PA DU 製() を使用し、加熱速度(10°C/a gn, 目標温度(230°Cとして行った。得られたDC曲線から結晶化エンタルピー ΔH_c と融解エンタルピー ΔH_m を算出し、下式に代入することによって結晶化度 χ_c を算出した。

$$\chi_c = \frac{\Delta H_c + \Delta H_m}{135} \frac{1}{1 - w_f} \quad (1)$$

ここで値(135(J/gは無限大の結晶厚さを有するPLAの理論的な融解エンタルピー、 w_f は平織基材の重量含有率(約50(a t) である。

2-1-2. 実験結果及び考察

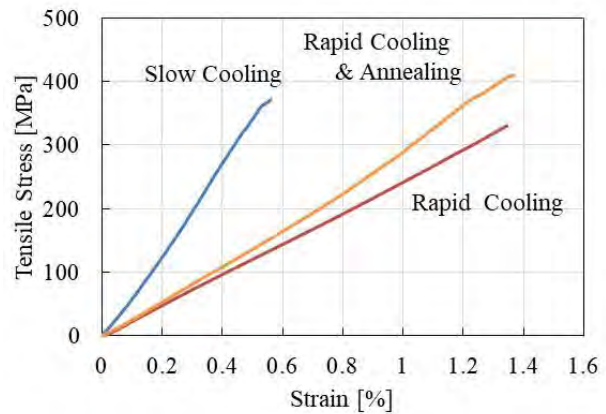
引張試験において得られた応力 - ひずみ曲線を(Fgg2に示す。また、(Fgg2から得られた引張強度と弾性率を(Fgg3に示す。(Fgg2と3より冷却速度が上昇すると破断伸びは増加する一方、引張強度と弾性率は低下した。一方、アニーリングの有無による比較において引張強度と弾性率の有意な変化は見られなかった。次にDCにおいて得られた結晶化度を(Fgg(に示す。この結果、結晶化度は冷却速度の上昇とともに低下し、アニーリングによって増加することが示された。

(Fgg3よりアニーリングの有無により引張強度には有意差が見られなかった。これは試験片の引張負荷が主に炭素繊維によって保持されているためと考えられる。また、平織基材における繊維のうねりによって母材の力学的特性の変化が反映されやすいと考えた弾性率においても有意差が見られなかった。(Fgg(よりアニーリングにより母材の結晶化度が約40(から6(まで上昇したことから、引張強度及び弾性率に及ぼす母材の結晶化度の影響は極めて小さいと考えられる。

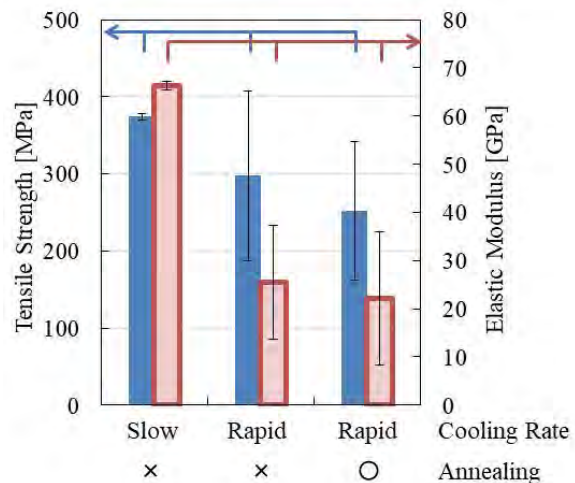
一方で、冷却速度で比較した結果、引張強度と弾性率は冷却速度の上昇によって低下した。これは母材高次構造の影響ではなく、炭素繊維への樹脂の含浸率の違いが原因と考えられる。冷却時間

が短いと含浸する前に樹脂が凝固する。このために炭素繊維に負荷が伝わらず、引張強度と弾性率が低下したものと考えられる。そこで、(CF/PLA板の断面観察を行い、含浸率を調査した。この結果、徐冷した(CF/PLA板では含浸率が(0.10(であるのに対して、急冷では含浸率が(0.1(と比較的低いことが示された。

以上より、(CF/PLA板の弾性率に及ぼす結晶化度の影響が小さいと考えられる。また、冷却速度が上昇した際の力学的特性の変化は含浸率の変化が原因と考えられる。



Fgg2 The(coa ptegn(on(of ue (- (uegn(creve (gn((pecga en(wgilt gfeenu(oolgrg(ue(t n (tn net lgrg



Fgg3 The(coa ptegn(on(of uan gle(uengh(tn (elt ugc(a o rlr (gn(pecga en(wgilt gfeenu(oolgrg(ue(t n ((tn net lgrg

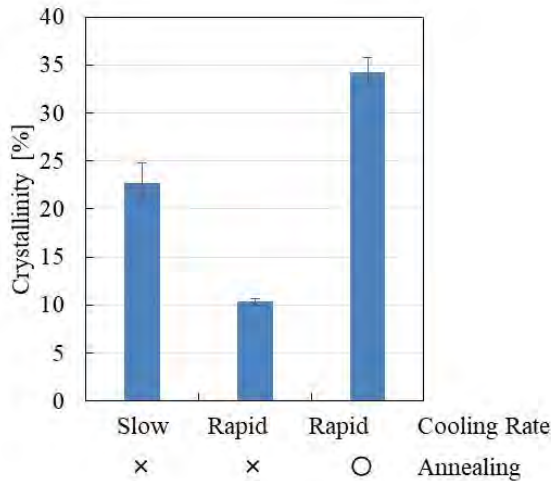


Fig. 1. The cooling rate effect on the crystallinity of the CF/PLA composite. (x) Slow cooling rate, (O) Rapid cooling rate with annealing.

2-2. CF/PLA 複合材料の曲げ特性に及ぼす熱処理時間の影響

2-2-1. 実験方法

① 成形方法

(2-2 では(2-1 と同じ平織基材とポリ乳酸を用いたCF/PLA 板を成形した。ただし、(2-2 ではCF/PLA 板の含浸率を向上させるため、フィルムスタッキング法による成形を行った。

フィルムスタッキング法は(Fgg(5 に示す様に(PTF シート、平織基材、ポリ乳酸フィルムを配置し、その後は(2-1 と同様の手順で加熱圧縮成形する成形方法である。成形条件は成形温度(200°C、成形圧力(2.5 MPa とし、加熱圧縮後は水冷による急冷を行った。また、積層構成は(00 f とし、繊維質量含有率約(60 wt %、(110(a a ×(110(a a の寸法で成形した。

成形したCFRTP板における母材の結晶化度を変化させるためにアニーリングを行った。熱処理温度は(130°C とし、熱処理時間を(3.5(h(、(h(1(h に変化させて行った。

② 3点曲げ試験

(CF/PLA 板の力学的特性を調査するために(3点曲げ試験を行った。試験片は(00(a a ×(10(a a 切り出され、両端支持間距離(0.55(a a の治具にセットされた。試験中に生じるひずみを測定するために試験片中央部の引張面にひずみゲージを接着した。試験機には万能試験機(P-500a-L550、(IPA DA 製()) を使用し、試験片中央の圧縮面に荷重を負荷

することで試験を行った。試験条件としてクロスヘッドスピードを約(0(a a /a gn とした。

2-2-2. 実験結果及び考察

(Fgg(0 に曲げ試験における応力 - ひずみ曲線を示し、(Fgg(0 から得られた曲げ強度と曲げ弾性率を(Fgg(6 に示す。また、(2-1-1(③と同様の方法で得られた各試験片の結晶化度を(Fgg(7 に示す。これらの結果、曲げ強度と弾性率は熱処理時間とともに低下し、結晶化度は上昇した。また、破断後の試験片の端面観察を行った結果、ほぼすべての試験片において圧縮面付近での破壊が見られた。

(CFRP において圧縮荷重は主に母材樹脂の強度に依存する。このことから、曲げ強度の低下はアニーリングによる結晶化度の上昇によって(PLA が脆化したことが原因と考えられる。一方で、過去の研究において、坂井ら⁽¹⁾ は母材としてポリアミドを用いた(CFRP 積層板において、アニーリングによる結晶化度によって曲げ強度と弾性率が向上することを報告している。これは結晶化による樹脂収縮により、繊維・樹脂界面の接着強度が向上したためと考察している。これらの傾向の違いは母材樹脂の収縮率の違いが原因と考えられる。ポリアミドの収縮率は約(10 ~ (22(であるのに対し、ポリ乳酸の収縮率は約(0 (と小さい。このため、結晶化による樹脂収縮による界面の接着強度向上よりも樹脂の脆化の影響が大きく影響したと考えられる。

以上より、曲げ試験において圧縮面での破壊が見られたことから、(CF/PLA 複合材料の曲げ強度は母材樹脂に依存することが示唆された。また、(CF/PLA 複合材料の曲げ強度は結晶化によって低下した。これはポリ乳酸の結晶化による収縮率が小さいことが原因と考えられる。

参考文献

- 1) 坂井((建宣((a r c t f g t h((B g m g(h t a r g a(福嶋 遼太((蔭山健介、炭素繊維強化ポリアミドの結晶化が静的曲げ特性に及ぼす影響、日本複合材料学会誌、2010、60(5、pp(223-220

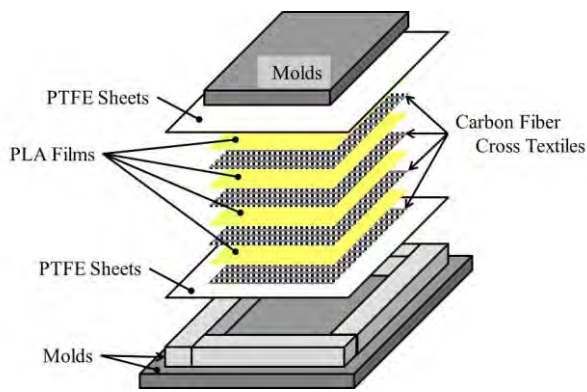


Fig. 5. Manufacturing process of CF/PLA composite sheets.

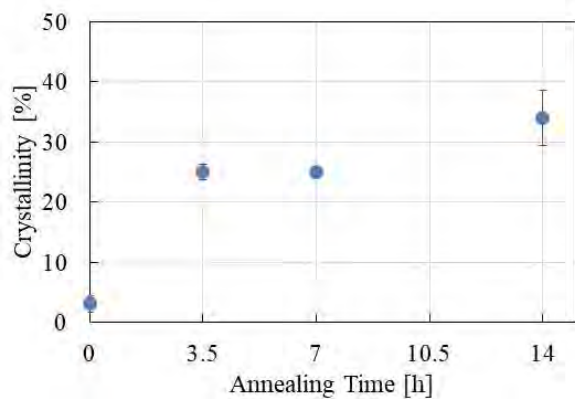


Fig. 7. Crystallinity of CF/PLA composite sheets after annealing.

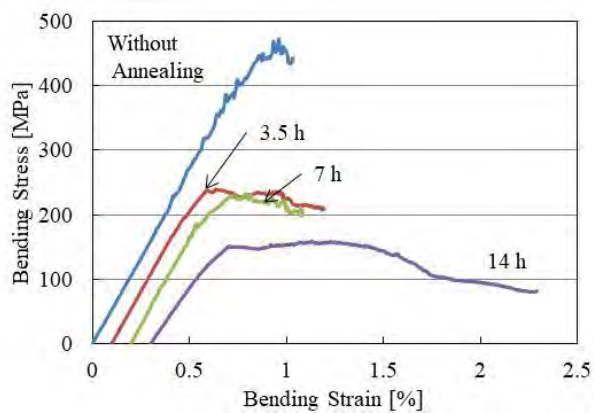


Fig. 9. Bending stress-strain curves of CF/PLA composite sheets after annealing.

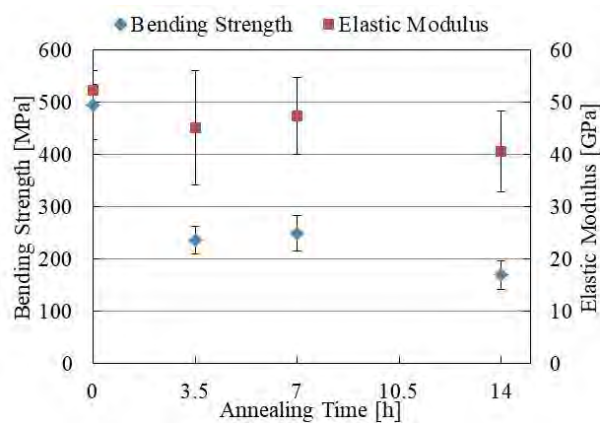


Fig. 10. Bending strength and elastic modulus of CF/PLA composite sheets after annealing.

3. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計3件)

- (1) 山口 雅人, 後藤 広夢, 黒澤 暢雄, 小林 訓史, β型PLA/CF複合材料の力学的特性に及ぼす結晶化度の影響, *繊維学会誌*, 2019, 73(1), 1-6. (査読あり)
- (2) 古島 剛, 坂口 雅人, 生体吸収性マグネシウム合金およびプラスチックの加工技術, *日本塑性加工学会会報誌「ぷらすとす」*, 2020, 30(1), 13-17. (査読あり)
- (3) 山口 雅人, 後藤 広夢, 黒澤 暢雄, 小林 訓史, β型PLA/CF複合材料の力学的特性に及ぼす結晶化度の影響, *繊維学会誌*, 2019, 73(1), 1-6. (査読あり)

[学会発表] (計10件)

- (1) 坂口 雅人, 中野 秀秋, 小林 訓史, β型PLA/CF複合材料の力学的特性に及ぼす延伸の影響, 年次大会, 査読無, PDFデータでの配布.
- (2) 後藤 広夢, 坂口 雅人, CF/PLAの力学的特性に及ぼす結晶化度の影響, 年次大会, 査読無, PDFデータでの配布.
- (3) 坂口 雅人, 後藤 広夢, 平織炭素繊維強化ポリ乳酸の曲げ特性に及ぼす母材結晶化度の影響, 山梨講演会講演論文集, 査読無, PDFデータによる配布.
- (4) 坂口 雅人, 黒澤 暢雄, 小林 訓史, β型

リン酸三カルシウム(/ポリ乳酸複合材料の力学的特性と母材高次構造に及ぼす引張延伸の影響, 機械材料・材料加工技術講演会講演論文集, 査読無, PDFデータによる配布.

- (5) 小椋((陸, 坂口((雅人, 成形方法の違いによるポリ乳酸製骨固定スクリューの力学的特性調査, 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集査読無, PDFデータによる配布.
- (6) 後藤((広夢, 坂口((雅人, 炭素繊維(/ポリ乳酸複合材料の力学的特性に及ぼす母材結晶化度の影響, 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集査読無, PDFデータによる配布.
- (7) 黒澤((暢雄, 坂口((雅人, β 型リン酸三カルシウム(/ポリ乳酸複合材料の引張延伸, 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集査読無, PDFデータによる配布.
- (8) 吉田((拓未, 坂口((雅人, ポリ乳酸フィルムの力学的特性に及ぼす結晶サイズの影響, 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集査読無, PDFデータによる配布, ポスター発表優秀賞.
- (9) 小林((優斗, 坂口((雅人, ポリ乳酸の引張延伸による延伸温度の影響, 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集査読無, PDFデータによる配布.
- (10) 若山((隼, 黒澤((暢雄, 坂口((雅人, ジュラシクロボットを作ろう!, 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集査読無, PDFデータによる配布.

〔図書〕 (計1件)

- (1) 炭素繊維およびその繊維複合材料における分析試験, 評価解析に関する最新事例集(“第3章 第3節 CFRTPにおける母材の高次構造解析とその機械的物性評価について”, 坂口((雅人, 後藤((広夢, 技術情報協会, 2010, pp 6,2-5 .

課題研究費実績報告書

令和2年3月26日現在

研究課題名：次世代洋上風力発電システム用の自励式巻線形同期発電システムの開発

研究代表者：山下 健一郎

小区分：電力工学関連

1. 研究計画の概要

本研究では洋上風力発電システムのための低コストで高効率な風力発電装置の提案／開発を行う。

筆者らは、洋上変電所が不要な次世代の洋上風力発電所として、直列ループ式の直流送電システムを用いた洋上風力発電システムの研究を行っている。一般に洋上風力発電所の風力発電装置は同期発電機、変圧器並びに発電機出力を制御する整流器（コンバータ）等で構成されており、発電機には永久磁石同期発電機（PMSG）や、巻線型同期発（WRSG）が用いられている。中でも、自身の発電電力の一部を励磁用の電力として用いる

「自励式のWRSG」はPMSGと同様に励磁用の電源が不要で、希土類を使用しないため、持続可能な社会を見据えた風力発電機として期待されている。同発電機は励磁電流の調整により発電機出力電圧を制御できるため、主整流器には安価で堅牢なダイオード整流回路を用いることができる。しかしながら、発電機の漏れインダクタンスが大きい場合（インダクタンスが小さいほど鉄機械となり、高価になる）、電圧波形ひずみが増大するため、広い範囲で適切な励磁電圧を維持することができない問題点を有する。本研究では、負の等価インダクタンスを有する変圧器を用いた、主整流器で生ずる高調波を除去できるシステムを提案し、幅広い制御範囲を有する風力発電装置を提案／開発する。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

当該研究では①供試装置（2kVA）の製作、②シミュレーションモデルの構築、③提案する風力発電システムの定常特性（システム各部の電圧・電流波形、種々な運転状況における制御範囲の確認など）について供試装置を用いた実験的検討並びにシミュレーションモデルを用いた理論的検討を行った。以下、詳細を説明する。

① 供試風力発電装置（2kVA）の製作 （達成度70%）

2kVAの巻線形同期発電機に前論文で提案・試作した変圧器を組み込み、製作したサイリスタコンバータ、ダイオードブリッジを接続した風力発電模擬装置を構築した。しかしながら、変圧器電圧のひずみにより、コンバータが適切に転流できないことが明らかとなった。これについては別の方法を現在検討している。また、サイリスタコンバータ以外の励磁方式について検討するための供試装置の開発も一部行った。

② シミュレーションモデルの構築 （達成度100%）

シミュレーションソフト（PSIM）を用いたモデルの開発を完了した。同モデルは発電機出力や実効値の他、電圧や電流の波形も計算することができる。

③ 提案する風力発電システムの定常特性解析 （達成度70%）

提案方式の有用性を②で構築したシミュレーションモデルで確認したが、①の供試装置が未完成のため、実験的検討は未達成である。提案方式を採用した風力発電システムに関する研究成果については、次年度開催予定の国際会議 ICEMS2020 で発表する予定である（digest 投稿済み。現在査読中であるため、詳細は割愛する）。また、同風力発電装置を有する直列ループ式の直流送電システムを用いた洋上風力発電システムについて、供試装置を対象に動作範囲やシステム容量に関する検討を行った。これらの成果については国際会議 ICEMS2019 にて発表を行った。また、実用規模の風力発電装置を想定したシステム全体の種々な計算結果（定常特性）については、現在投稿中の内容であるため、詳細は割愛する。

3. 代表的な研究成果

本研究における主要な研究成果として、次の項目があげられる。

- ① サイリスタ励磁方式を用いた風力発電システム供試装置、チョッパ回路を励磁回路に用いた風力発電システム供試装置、PWM コンバータを励磁回路に用いた風力発電システム供試装置（一部）
- ② PSIM を用いたシステムの瞬時波形シミュレーションモデル
- ③ 提案方式の有用性（動作範囲が著しく拡大するなど）、同風力発電システムを用いた風力発電所の定常特性など

〔学会発表〕（計2件）

- [1] Ken-ichiro Yamashita, Gai Tsukamoto, Shoji Nishikata, “Steady-state Characteristics of a Series LCC HVDC System with Power Compensators for Wind Farms,” The 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS2019), Harbin, China, Aug., 2019（査読無し）
- [2] Ken-ichiro Yamashita, Fujio Tatsuta, Shoji Nishikata, “Experimental Studies on a Current-source Converter-based Wind Power Plant Composed of Series-connected Wind Turbine Generators and Synchronous-compensator-commutated Thyristor,” IEEE Energy Conversion Congress & Expo (ECCE2019), Baltimore, MD, USA, Sept., 2019（査読無し）

課題研究費実績報告書

令和2年3月31日現在

研究課題名：粘性差を伴った2成分混合系対流における過渡的停滞領域の解明

研究代表者：小林和也

小区分：数理物理および物性基礎関連

1. 研究計画の概要

流体を下面から加熱した際に上面・下面の流体に密度差が生じ、レイリー・ベナール対流（熱対流）が生じる。この対流について、これまで1成分系だけにとどまらず、2成分混合系においても様々な研究が行われてきたが、混合する2成分間の分子ダイナミクスに強い非対称性（運動性の違い）を伴う場合における対流現象に関する研究はあまり行われていない。最近、申請者らの先行研究によって、ある値以上の粘性差を有した溶液混合系の対流中において、上昇流付近に過渡的に流れが停滞する領域（TSD）が動的に形成されることが明らかになった。しかしながら、現象の本質的解明にはまだ至っていない。そこで本研究では、この過渡的な停滞領域（TSD）形成の物理的なメカニズムを系統的な実験を通して明らかにする。このメカニズムを明らかにすることによって、例えば、カオスや乱流といった状況における熱輸送ダイナミクスにおける動的な非対称性の効果など、今後の非平衡物理の発展性が大きく期待できると考えている。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究課題で取り扱う2成分系の場合、1成分系とは異なり、密度以外に濃度の変数が存在する。そこで、粘性の濃度依存性を切り口にTSD形成のメカニズムを探った。具体的には2成分の混合比を変化させた際のTSD形成の有無や頻度といった情報を明らかにした。その結果、ある混合比以下になるとTSD形成が起これなくなることを確認した。さらに、様々なシリコンオイルの組み合わせによって、混合比を変化させた際に普遍的にTSDが形成されるための粘性の濃度依存性の強さの下限値を決定することに成功した。

さらに、コロイド-水分散系に着目し、この系においてTSD形成が起こるかを調べた。コロイド粒子は通常球形をとっており内部自由度を持たず、

さらにコロイド溶液の実効的な粘性率はコロイドの体積分率によって変化することが知られている。したがって、体積分率を制御することによって系の実効的な粘性率を変化させることができる。その結果、ある濃度においてTSD形成が起こることを発見した。この結果はTSD形成の本質が粘性の濃度依存性の強さというパラメータによって支配されていることを示している。これらの結果は論文にまとめて、近々、投稿を予定している。

3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計4件)

- (1) Ryoko Sinohara, Kazuya U. Kobayashi, Marie Tani and Rei Kurita, “Transient stagnant domain in a thermal convection of a binary mixture”, *Grand Views of Soft and Liquid Matter Physics*, No.66, Tokyo Japan (March 2020) [査読有]
- (2) 小林和也, 栗田玲, “大きな粘性差を伴った混和性2成分流体系の熱対流” 日本流体力学会年会 2019 講演論文集, 東京, (2019年9月). [査読無]
- (3) 篠原良子, 小林和也, 栗田玲, “2成分混合対流における過渡的停滞領域形成のレイリー数依存性” 日本流体力学会年会 2019 講演論文集, 東京, (2019年9月). [査読無]
- (4) 篠原良子, 小林和也, 栗田玲, “2成分系対流における過渡的停滞領域形成のレイリー数依存性” 第18回 関東ソフトマター研究会, 東京, (2019年8月). [査読無]

課題研究費実績報告書

令和2年3月31日現在

研究課題名：外的刺激を用いた自律神経活動の制御方法の検討

研究代表者：森 幸男

小区分：感性情報学

1. 研究計画の概要

人が癒しや快適さを感じる時の自律神経活動は、副交感神経が優位になった状態であることが知られている。またこうした癒しや快適さをもたらす特定の音楽や自然環境には、振幅や周期のゆらぎのスペクトルに $1/f$ 特性を示す「 $1/f$ ゆらぎ」が含まれているとも言われている。申請者らは、先行研究において、 $1/f$ ゆらぎが人の自律神経活動に影響することを明らかにした。また、血流を制御する磁気刺激が自律神経活動に影響することも明らかにした。これらの結果から、外的刺激によって自律神経活動を制御する可能性の示唆を得た。

そこで、本研究は、2つの刺激（ $1/f$ ゆらぎ刺激、磁気刺激）を用いて、人の自律神経活動を制御する方法を定量的な観点から明らかにすることを目的として実施した。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究の目的を達成するために、以下の3点に着目し検討した。

- ① $1/f$ ゆらぎが自律神経活動を制御できるかを定量的に明らかにする。（2019年度～2020年度）

本研究では、 $1/f$ ゆらぎの効果を定量的に調べるために、機械的な振動刺激と実際の音環境に実装した音刺激を用いた。

まず、機械的な振動刺激に関して述べる。先行研究で得られた示唆から、被験者の心拍変動、他者の心拍変動、一定間隔の振動にそれぞれ同期したパルス振動刺激を用いて、脈波計測から客観的データ解析を行い、関係性を検討した [1]。

本研究からは、 $1/f$ ゆらぎが自律神経活動を制御できるという明確な結論を得ることはできなかった。しかしながら、刺激のパラメ

ータ（時間間隔や強さ）や被験者数をより精査して検討することにより、ゆらぎの効果が明らかにできると考えられる。次年度以降の研究課題として検討する必要がある。

次に、実際の音環境に実装した音刺激に関して述べる。本研究では実際の音環境として図書館における学習スペースを想定した。この学習スペースにおいて、 $1/f$ ゆらぎ音源を背景音楽（Background Music, BGM）として提示した場合と、個別音環境（イヤホンによる個別提示、パラメトリックスピーカによる音場限定範囲提示）として提示した場合について、被験者の読書作業量の促進効果についてそれぞれ検討した [2][3]。

本研究から、次のような知見を得た。

- (a) 被験者の嗜好として読書が好き嫌い問わず、BGMがある方が読書に熱中できるという傾向を得た。すなわち、BGMありの方が目的作業の促進ができると期待できる。
- (b) 被験者の嗜好として読書が好きな人はイヤホンでBGMを提示したときの方が読書に熱中する人が多いことが分かった。また、読書が嫌いな人はパラメトリックスピーカによるBGM提示の方が読書に熱中していることが分かった。なお、男女混合で計測を行ったが差はみられなかった。

以上のように図書館の学習スペースによる音環境についてはある程度の傾向を得ることができた。しかし、どのような音楽が作業を促進するのか等、実践的な知見を得ることはできておらず、さらなる検討が必要であると考えている。

- ② 磁気刺激が自律神経活動を制御できるかを定量的に明らかにする。(2019年度～2020年度)

先行研究 [4] により、磁気に影響しない自律神経活動の計測が必要であることが分かったため、本研究では、自律神経活動の計測方法として皮膚電位を用いた。市販の磁気治療器による交流電気磁気刺激に対する自律神経活動の変化から、その関係性を検討した。

本年度は、先行研究の内容についてさらなる検討を進めたが、現在のところ発表できる成果を得ていない。計測に時間が必要であることが大きな原因である。計測を効率的に計画しながら実施し、来年度成果を発表できるようにしたい。

- ③ 音刺激と磁気刺激における自律神経活動の制御方法の確立(2021年度)

前述の①、②の成果を基にして、定量的な観点による自律神経活動の制御方法を音刺激と磁気刺激において検討する予定である。

3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計3件)

- [1] 村上慶仁, 中谷直史, 白濱成希, 渡邊志, 森幸男, 心拍と同期した刺激による自律神経活動について, 日本人間工学会関東支部第25回卒業研究発表会, 査読無, C-2-3, 千葉工大(新習志野), pp.104-105, 2019-12.
- [2] 熊澤匠真, 和田初枝, 森幸男, 図書館における読書作業とBGMの関係性について, 日本人間工学会関東支部第25回卒業研究発表会, 査読無, C-3-1, 千葉工大(新習志野), pp.108-109, 2019-12.
- [3] 渡邊真璃弥, 和田初枝, 森幸男, 図書館における個別音響空間の読書熱中度に関する検討, 日本人間工学会関東支部第25回卒業研究発表会, 査読無, C-3-2, 千葉工大(新習志野), pp.110-111, 2019-12.

[その他]

- [4] 笠原淳一, 森幸男, 交流式電気磁気曝露による自律神経活動の一考察, 日本福祉工学会第22回学術講演会講演論文集, 査読無, 304, 熊本高専(合志), pp.46-47, 2018-11.

課題研究費実績報告書

令和2年3月31日現在

研究課題名：量子 Rabi 模型における超強結合領域の解析

研究代表者：真島 裕樹

小区分：数理物理および物性基礎関連

1. 研究計画の概要

光と物質の相互作用を量子力学的に記述する量子 Rabi 模型において、解析の容易さと実際の相互作用の強度から、従来は量子 Rabi 模型に回転波近似を施した Jaynes-Cummings 模型 (JC 模型) が扱われてきた。ところが、半導体基板上に作製した人工原子 (超伝導電気回路) を用いる回路量子電磁力学 (回路 QED) では、人工原子とマイクロ波光子の相互作用を非常に強くすることが可能であり、JC 模型では現象を理解することが難しくなってきた。すなわち、量子 Rabi 模型のハミルトニアンに現れる JC 項に対して対向回転項 (JC 模型では無視する) を無視することができなくなったため、量子 Rabi 模型そのものに向きあう必要が生じている。

この問題を追究するに当たり、開放量子系の理論および熱場の量子論の2つ観点からのアプローチを試みる。開放量子系の理論の観点からは、量子 Rabi 模型の散逸や基底状態の不安定性に関する知見を得ることができる。また、熱場の量子論の観点からは、エントロピー変化を求めることにより、量子 Rabi 模型における発熱を評価することができる。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

Dicke 模型を含む一般化された量子 Rabi 模型における状態の不安定性を考察した。

はじめに、Dicke 模型で生じるのと同様に、超強結合領域における量子 Rabi 模型でも超放射相転移が起こることを示した。

この相転移が起こる原因の一つとして、量子 Rabi 模型に含まれる対向回転項の存在が考えられる。そこで、対向回転項が基底状態の時間発展に与える影響を考察した。その結果、真空残存確率振幅 $\langle 0|0(t)\rangle$ が、結合定数を g として e^{-gt} と振る舞い、長時間極限 ($t \rightarrow \infty$) では $\langle 0|0(t)\rangle \rightarrow 0$ となることを示した。また、熱力学極限では有限

時間であっても $\langle 0|0(t)\rangle \rightarrow 0$ ($V \rightarrow \infty$) となり、真空の非同値表現が存在することがわかった。

上で述べた対向回転項の効果とは別に、超強結合領域における量子 Rabi 模型は物質の効果が繰り込まれた光子によって記述されることが、超対称量子力学の知識を用いると示せる。このとき、相互作用はコヒーレント状態を作るため、この繰り込まれた光子の基底状態の時間発展は $\langle 0|0(t)\rangle \rightarrow e^{-gt^2}$ となり、通常の強結合状態と比較してゆっくりにした崩壊となることがわかった。

量子 Rabi 模型の熱力学的性質については今後の課題である。

3. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計1件)

- [1] [Hiroki Majima](#), Quantum Instability in the Ultrastrong Coupling Regime of the Dicke Model, JPS Conf. Proc. 査読有, 30 巻, 011025 頁

[学会発表] (計1件)

- [1] Hiroki Majima, Quantum Instability in the Ultrastrong Coupling Regime of the Dicke Model, International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019, September 23 - 28, 2019, Okayama Convention Center, 査読有

課題研究費実績報告書

令和2年3月31日現在

研究課題名：自己相似的な数理構造をもつ複素点列とその最適点配置問題の研究

研究代表者：須志田隆道

小区分：応用数学および統計数学関連

1. 研究計画の概要

ひまわりの頭状花序を観察すると、無数に存在する種が螺旋状に配置されていることに気づく。ひまわりのような植物の葉や種などの配置は葉序と呼ばれている。植物は細胞壁をもつ細胞組織として形成されるが、螺旋の数や連続して生成される2つの原基（葉や種などのもとになる細胞）の角度（回転角）を計測すると、多くの植物において、螺旋の数がフィボナッチ数であり、回転角が黄金角（およそ137.5度）であることが報告されており、葉序は非常に美しい数理構造を有するということが知られている。

葉序の数理的な研究は19世紀前半に始められ、葉序の数理構造を理解するための単純な円筒モデルが提案された。Bravais兄弟らは円筒モデルにおいて、螺旋の数が回転角の連分数展開の近似分数に関係していることを示した。その後、20世紀前半にG van Itersonは円筒モデルを複素対数関数によって移すことで得られる対数螺旋上の複素点列を母点集合とする円板充填（サークルパッキング）モデルにおいて定義される螺旋の数の分岐過程を示したvan Iterson diagramを示し、20世紀後半に、RothenとKochによって分岐過程において回転角の連分数展開で得られる近似分数の分母が螺旋の数であることを示した。申請者は日詰明男氏（造形作家・龍谷大学）が考案した対数螺旋上の複素点列を頂点集合とする三角形螺旋タイリング（フィボナッチ・トルネード）を出発点として、日詰氏と山岸義和氏（龍谷大学）との共同研究として、対数螺旋上の複素点列を頂点集合とする幾何学モデル（タイリング・ボロノイ図・円板充填）における数学的な性質を網羅的に証明する研究を行い、ボロノイ図において定義される螺旋の数の分岐過程を示す分岐図の双対グラフがvan Iterson diagramであることを数学的に証明した。対数螺旋上の複素点列は、一つの複素数で生成される原点を除いた穴あき複素平面上の無

限乗法群であり、一つの固定された複素数の冪乗によって各点の座標が決定される。複素数の演算によって点の配置が決定されることから、演算を変更すれば、さらに複雑な数理構造をもつ点列を考えることができる。巨大数の分野で定義されているものを参照すると、冪乗はハイパー3演算子と呼ばれており、加法はハイパー1演算子、乗法はハイパー2演算子と呼ばれている。本研究では、冪乗の次の演算子である超冪乗（ハイパー4演算子）で点の配置が決定される複素点列を考える。

超冪乗点列はGalidakisによって、複素力学系の手法を用いた研究が行われている。超冪乗点列は固定する複素数に応じて、螺旋模様が1つの場合だけでなく、複数の螺旋模様がクラスタとして得られる場合がある。Galidakisはどの複素数を固定すればクラスタの個数が何個できるかを固定した複素数から判別するための条件を導出し、クラスタの収束点の座標を求めることに成功した。

本研究のねらいの一つ目は、複数のクラスタが存在する場合に、収束点を中心として、螺旋上に存在する連続している2つの複素数の偏角がどのような値に収束するか、それぞれのクラスタで計算される偏角の値は同じ値であるかどうかを示すことである。ただし、ここでの偏角は主値をとるものとする。さらに、同一の偏角に収束するような複素数はいくつ存在するかを明らかにすることである。対数螺旋上の複素点列の問題では、2点間距離で定義された指数型のポテンシャル関数の最小化問題の解として、エネルギーが最小の方向に収束すると、黄金比やフィボナッチ数で記述されるパターンが最も安定であることが数値的に示されている。本研究のねらいの二つ目は、超冪乗点列においてもエネルギー最小化問題を扱い、どのような配置が安定かどうかを調べることである。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

本研究の第一のねらいである複素数の比の収束

に関して、極限点周りの漸近挙動を数学的に取り扱ひ、偏角の収束値を表す数式を計算によって導出することに成功した。さらに、複素関数のイテレーションを計算することによって、一つの複素数を固定した場合に複数のクラスタが存在する場合においても、全ての偏角が同じ値に収束することを数学的に証明した。図1は偏角が同じ値に収束する例を示している。

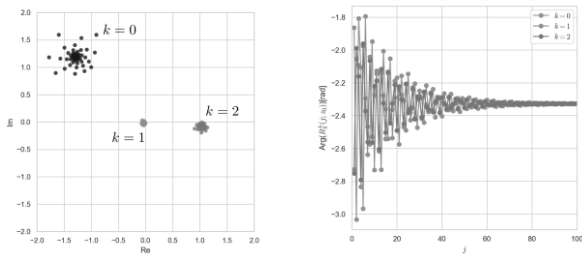


図1. (左) $-1+i$ と固定して得られる点列. (右) 偏角の主値が同じ値に収束する様子.

同じ偏角の値に収束する複素数の集合に関しては、数値計算によって算出した。共同研究者の米華真典氏（サレジオ工業高等専門学校専攻科）が開発した Python でのプログラミングコードを用いることで、単一の計算機の複数のスレッドを同時に扱った計算が可能になり、計算時間を削減して、複素数の集合を描画することができた。図2は同じ偏角の値に収束する複素数の集合を表しており、同じ偏角の値に収束する点列を作り出す複素数が複数存在することが数値計算によって確かめられた。この数値計算をヒントにして、同じ偏角の値に収束する複素数の個数を集合論的に明らかにするための数学的研究が望まれる。

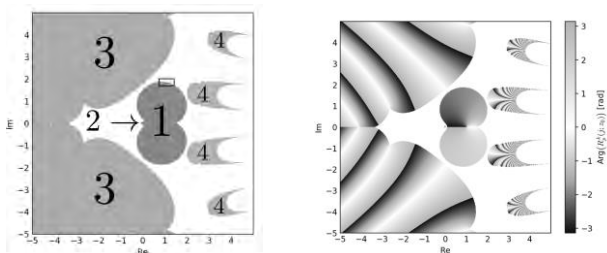


図2. (左) クラスタの個数で分類された複素数の集合. 1, 2, 3, 4とラベリングされた領域で複素数を固定するとラベルと同じ数だけのクラスタが出現する. 太枠は図3に表示される範囲を示す. (右) 収束する偏角の値に応じてグレースケールで示された複素数の集合.

さらに、ネットワーク上で管理された計算機群を同時に動作させるためのアプリケーション開発に取り組み、課題研究費で購入した計算機と既存の計算機の全てを使用した並列処理が可能となり、作業の効率化を図ることができた。特に、今回開発した並列計算プログラムの設計は本研究だけでなく、その他の数値計算プログラムにも適応することができ、汎用性が高いものとなった。

エネルギー関数の最小化問題に関して、本年度は数値計算を行うことに留めた。図3に示されたように、クラスタ数が1つのときについてクラスタサイズを評価する関数を定義して、エネルギーをヒートマップで表した。この結果から大きいクラスタを作り出す複素数が図2（左）のクラスタ数1の領域の境界であることを特定することができた。一方で、クラスタサイズが最も小さくする複素数は1であることは自明であるが、1の近傍でのエネルギーがどのように評価されるか、領域の境界上でのエネルギーの分布が均一であるかどうかといった数学的な問題があるため、それらを今後の課題とする。

さらに、ハイパー3演算子の対数螺旋上の複素点列と同様に、指数関数型のエネルギー関数を点同士の距離を用いて定義したものを考えると、図3に示されたように、領域の境界付近において、エネルギーの分岐構造が観察できる。この分岐構造はvan Iterson diagramと同様に、収束する偏角の連分数展開の近似分数と密接な関係があると推測できるため、今後の課題としてエネルギーの分布の詳細について研究を行う。

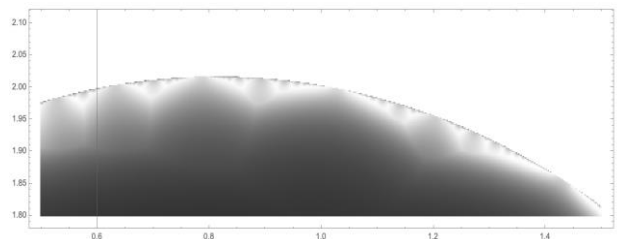


図3. 図2（左）の太枠部分における指数関数型のエネルギー関数の分布図. グレースケールでエネルギーの値を表しており、黒色は高く、白色は低いことを示す. ただし、クラスタ数が1の領域以外は白色で塗りつぶしている. エネルギーが低いところ（白色部分）に分岐構造が観察できる.

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕（計1件）

- [1] 米華真典, 須志田隆道, ハイパー4演算子で定義された複素点列の等角性について, 第17回計算数学研究会, セッション3-3, 査読なし

研究課題名：光源の空間分布特性を考慮した光源色推定手法の検討

研究代表者：川村春美

小区分：知覚情報処理関連

キーワード：色彩恒常，視覚情報処理，光源色推定

1. 研究計画の概要

複数種類の照明光がシーン中に存在している場合の画像から照明光の色を推定する手法に関する検討を行う。推定にあたっては、画像上における照明光と物体色の空間的変化の違いに着目した手法である Retinex 理論をベースとする。2種類の光源下で作成した CG 画像に Retinex 理論を適用した際の推定精度を検証し課題を明らかにすると同時に、光源種類を3種類に拡張する手法についても検討する。また、実画像に適用し推定精度を評価する。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

(1) 既存研究と課題

カラー画像から照明光色を推定する手法の中で Retinex 理論¹⁾は古くから提案されており、改良手法も多岐に渡っている。この理論では、照明光の空間的な強度変化よりも物体領域の境界による強度変化の方が大きいことを利用し、物体の反射率の情報からなる画像を生成することが主眼である。即ち、画像の画素値変化の大きい部分を物体領域の境界と見なし、緩やかな変化を照明光強度によるものと見なし反射率の計算から除外することによって物体領域毎の相対的な画素値の比率を反射率とする。図1は、右側にいくほど照明光強度が大きくなる画像から緩やかな変化を除去することで反射率を得る様子を示したものである。

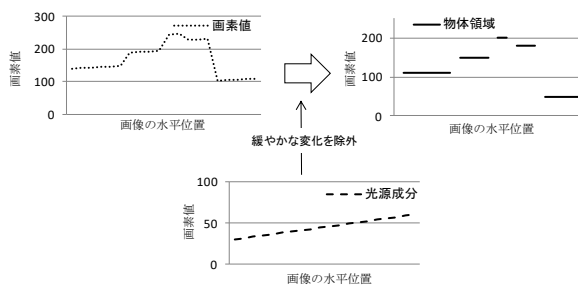


図1：Retinex 理論による反射率推定の概念

また、この理論では、シーン中に存在する照明光の種類についても影響を受けずに反射率の情報を推定できると言われている。そこで本研究では、陰影がある画像を対象として Retinex 理論による反射率推定の可能性を検討する。陰影のある画像とは、同一シーン内に照明があたっている日向領域と当たっていない日陰領域が存在する画像であり、日向、日陰を2種類の照明と見なす。本稿で対象とする日陰とは、図2に示すように光源からの光が十分に届かない領域において生じる陰の領域（灰色領域）であり、光が物体から遮蔽されることによって生じる影（図2の斜線領域）と区別する。

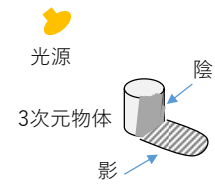


図2：陰と影の違い

上述したように、Retinex 理論では、画像の画素値の強度変化を物体領域の境界と見なす手法であるため、図2のように同一物体領域内に陰があると別の物体領域として見なされることが想定される。

(2) 提案手法

陰領域は日向領域と明るさは異なるが色味の成分は変化が小さいと考えられる。R, G, B の各画素値は明るさの成分を含んでいることから RGB 色空間を、色相、彩度、明度からなる色の三属性の空間に変換し、色相に基づく手法を提案する。色の三属性からなる色空間として本研究では

CIELAB²⁾を用いる。その理由は、色味成分と明るさ成分が理論的に独立であり、また、人間が知覚する色の差と色空間上の2色の距離とが対応している（均等色空間）という特徴があるからである。CIE L*a*b* は、明るさを表す明度指数L*と、色味を表すクロマティックネス指数C*とC*から構成される。クロマティックネス指数の組み合わせによって色相Cと彩度Cを式(1)、(2)によって定義する。

CAC*C*色空間においてC*とC*からなる平面上に色Cを射影した図を図3に示す。ここで、色相CはC*軸とのなす角(C~ϕ)で表し、彩度Cは原点と点CIとの距離とする。

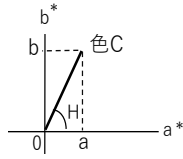


図3：a*b*平面の色相

$$H = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \dots\dots\dots (1)$$

$$S = \sqrt{a^2 + b^2} \dots\dots\dots (2)$$

式(1)による色相Hの差が大きい場合に物体領域の境界であると判定する。

(3) 実験

CGで作成した画像に上述した手法を適用する。図4の画像は、複数の色領域をランダムに貼り合わせたパターン(モンドリアンパターン)に、図5のように空間的に強度変化のある照明光を照射して作成したものである。なお、照明光は左から赤系照明、右側は白色照明とし強度変化をつけることで右側を陰領域とする。

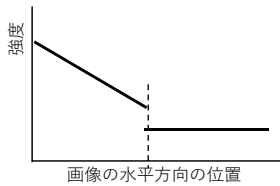
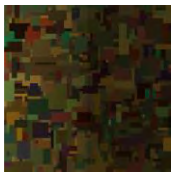


図4：実験画像 図5：照明光強度分布

実験結果を図6に示す。この図は実験画像(左側)と処理結果(右側)の画像のy=200上の水平方向の画素の値である。左側は全体に右下がりになっているのに対し、右側は左右の差がなくなっており、陰による影響を取り除いた反射率が得られていることを意味する。

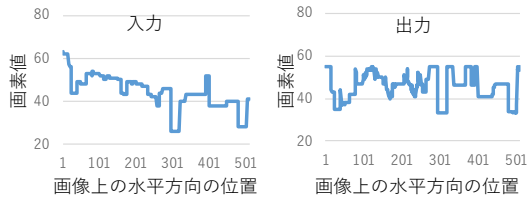


図6：画素値の変化

(4) 実環境の測定

以下の観点で物体表面からの反射光を測定する。

A：同一物体上での日向と影領域の反射光

B：照明光との距離に対する反射光

測定は、一辺が60cmの立方体内部の床面に被写体をおき、上部から照明光を照射する。測定器はコニカ・ミノルタ製CS-200、照明は昼光色、昼白色、白色および電球色の4種類を照射可能な

照明スタンドを用いる。

条件Aの結果を図7に示す。ピンク、黄、緑、青の4種類の紙製ファイルを被写体とし、昼光光源下の日向領域(□)と影領域(●)の反射光をxy色度座標上に示す。

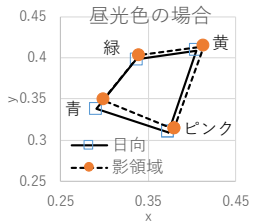


図7：日向と影領域の色

図8より、被写体の色に関わらず、全体的に影領域の反射光が右上、即ち、黄方向にシフトする傾向が見られる。この傾向は電球色の場合も同様である。

条件Bの結果を図8、図9に示す。図8は、照明光との水平距離に対する輝度Y(cd/m²)、図9は、照明光との水平距離に対する色度の変化である。図8より、照明光によらず距離が遠くなるほど輝度が小さくなる傾向が見られる。一方、図9ではx、y色度共に距離が離れる程、小さくなる、即ち、青味が強くなる傾向が見られる。

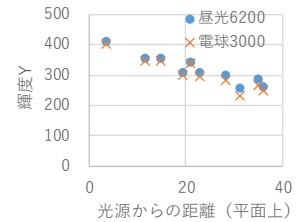


図8：光源からの距離に対する輝度

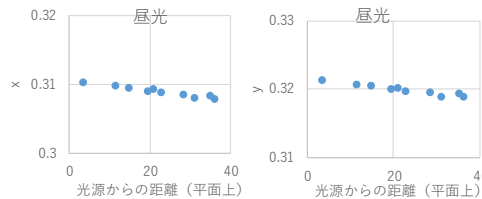


図9：光源からの距離に対する色度変化

(5) 今後の予定

陰影画像からの推定反射率にある揺らぎの原因を明確化し、光源種類の増加と実画像への適用を行う予定である。

参考文献

- 1) L.C. And, J.C. McClennan, "CIE Colorimetry, Theory," C. O. S. A., vol.61, no.1, pp.1-11, 1971.
- 2) “色の表示方法—L*a*b*表色系およびL*u*v*表色系,” JISハンドブック色彩, 日本規格協会(編), pp.355-357, (財)日本規格協会, 東京, 2009.

3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計1件)

- [1] 川村春美, 陰影画像からの照明光色と物体色の分離方法の一考察, 電子情報通信学会, 画像工学研究会技術報告 IE2019-105, pp.41-46

課題研究費実績報告書

令和2年3月12日現在

研究課題名：多段接続したコッククロフト-ウォルトン回路の高周波駆動に関する検討

研究代表者：米盛 弘信

小区分：電力工学関連

1. 研究計画の概要

本研究の最終目的は、室内における太陽光発電の実験で必須となる人工太陽光をパワーLEDによって実現することである。そこで、容易に直流高電圧が得られるコッククロフト-ウォルトン回路（Cockcroft - Walton Circuit：以下、CW回路）を応用してパワーLEDの点灯回路が実現できないか検討した。一般的に、CW回路は μA ～ mA オーダの電流しか出力できずパワーLEDを点灯させるには不十分である。すなわち、本研究を達成するためには、CW回路の高電流出力を実現する必要がある。ここでは、CW回路の出力電圧・電流の目標値を $280\text{V} \cdot 600\text{mA}$ とする。

本課題は、多段接続したCW回路に入力する交流の周波数に着目し、高周波化した際の直流出力性能を評価するために、以下の2項目について取り組んだ。

- 電子回路シミュレータLTspiceを用いて全波整流型CW回路を1段から4段まで接続した場合の出力電圧と出力電流を明らかにする。
- スイッチング回路を付加したCW回路を提案し、 5kHz 、 7.5kHz 、 10kHz の高周波パルスで駆動させたときの出力電圧と出力電流、およびリップル率を明らかにする。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

研究目標を達成するために、本年度は以下に示す項目について取り組んだ。代表的な成果の中から重要なものを概説する。なお、詳細は研究成果の論文等を参照されたい。

【シミュレータによる

全波整流型CW回路の動作解析】

本解析では、CW回路の段数を変化させた際の出力電圧と出力電流を電子回路シミュレータLTspiceによって明らかにする。はじめに、シミュレーションの妥当性を確認するために、 100Vpp -

10kHz の実験で得られた結果と同条件のシミュレーション結果を比較して整合がとれるか確認する。そして、確認後にメインとなる回路解析を行う。シミュレータで解析するCW回路の交流電源は、周波数： 10kHz 、電圧： 282Vpp 一定とした。解析は、全波整流型CW回路を1段から4段までの各段数において、負荷抵抗を 100Ω から $1\text{k}\Omega$ まで 100Ω ステップで変化させて行った。出力電圧と出力電流は、負荷抵抗の両端波形から測定した。

図1に電源周波数 10kHz 時の出力電圧と出力電流の関係を示す。図1より、段数の増加に伴い出力電圧と出力電流が大きくなることが分かった。2段以上の段数で目標とした出力電圧が得られることが分かった。

【スイッチング回路を付加した

CW回路の高周波駆動】

図2に実験回路を示す。本来は、商用電源を双方向スイッチによって直接AC-AC変換をして高周波数にしたいが、動作を簡単化するために、図2では商用電源を一旦直流にしてから高周波交流へ間接的に変換している。

本実験では、 5kHz 、 7.5kHz 、 10kHz の高周波パルスを生じさせる全波整流型CW回路に入力したときの出力電圧と出力電流、およびリップル率を明らかにする。高周波パルスは、1次側トランスに接続したスイッチング回路を用いて生成する。実験は、先行研究[†]と比較するため 100Vpp - 50Hz 一定とした。また、負荷抵抗は、 200Ω から $1\text{k}\Omega$ まで 100Ω ステップで変化させた。出力電圧と出力電流は負荷抵抗の両端波形から測定した。スイッチング素子は、n-ch Power MOS-FETを用い、Duty比50%

[†] 幅野岬太，大島穂高，米盛弘信：“全波整流型コッククロフト-ウォルトン回路の高周波駆動”，2018年（第36回）電気設備学会全国大会講演論文集，p.431(2018)

でスイッチングを行う。ゲート回路は、フォトカプラ (TLP250) を使用し、ゲート抵抗 $10\ \Omega$ を接続した。なお、CW 回路は高電圧が加わることから各素子は高耐压のものを用いている。

図 3 に周波数を 10kHz 、 7.5kHz 、 5kHz に変動させたときの出力電圧と出力電流を示す。図 4 に各周波数における負荷抵抗の変動に対するリップル率を示す。図 3 より、最大出力電圧は負荷抵抗 $1\text{k}\ \Omega$ 、周波数 10kHz 時に得られた出力電圧 97.2Vpp となっている。最大出力電流は負荷抵抗 $200\ \Omega$ 、周波数 10kHz 時に得られた出力電流 281mA となった。

図 4 より負荷抵抗が小さいほどリップル率が大きくなり、負荷抵抗が大きいほどリップル率が小さく安定することが分かった。

本実験に供した回路で測定した 10kHz の実験結果と先行研究[†]による交流電源 $100\text{Vpp} - 10\text{kHz}$ で行った実験結果を比較すると出力電圧と出力電流、およびリップル率は近似した値であることを確認した。したがって、図 2 の回路方式で全波整流型 CW 回路を高周波駆動させることにより、パワー LED の駆動条件である電圧： 300V 、電流： 600mA 、リップル率： 1% 未満が実現できる見込みが得られた。

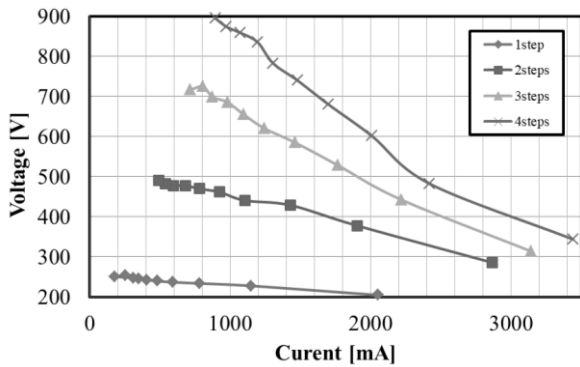


図 1 電源周波数 10kHz 時の出力電圧と出力電流の関係

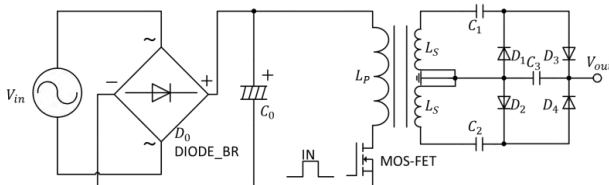


図 2 スwitching 回路を付加した CW 回路

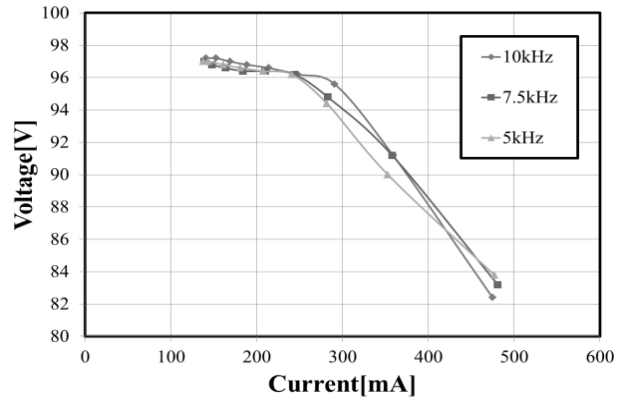


図 3 周波数を変動させたときの出力電圧と出力電流

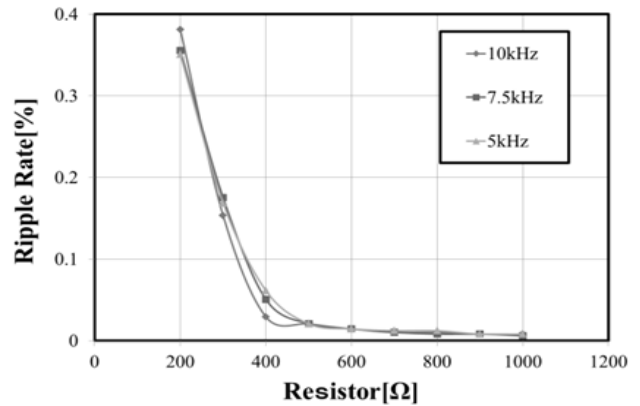


図 4 各周波数における負荷抵抗の変動に対するリップル率

3. 代表的な研究成果

[学会発表] (計 3 件)

1. 中川湧貴, 米盛弘信: “全波整流型コッククロフト - ウォルトン回路を用いた室内実験用光源の点灯回路に関する一提案”, 2019年 (第 1 回) 電気設備学会学生研究発表会プログラム・予稿集, 査読なし, pp.56-57, 東京電機大学 (2019-12)
2. 中川湧貴, 米盛弘信: “スイッチング回路を付加したコッククロフト - ウォルトン回路の高周波駆動に関する一検討”, 第 11 回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集 CD-ROM, 査読なし (2019-12)
3. 中川湧貴, 米盛弘信: “シミュレータによる全波整流型コッククロフト - ウォルトン回路の動作解析”, 2019年 (第 37 回) 電気設備学会全国大会講演論文集, 査読なし, p.543, 福岡工業大学 (2019-08)

課題研究費実績報告書

令和2年3月20日現在

研究課題名：多点観測可能な直流抵抗式土壌センサを活用したIoTによる灌漑技術の定量化システム

研究代表者：吉野 純一

小区分：計測工学関連

1. 研究計画の概要

本研究は、従来のセンサネットワークでの農業支援システムではなく、Sigfoxを活用したものである。Sigfoxは、低価格・低消費電力・長距離伝送を特長としたグローバルIoTであり、農業支援システムとしての実例は今のところない。ネットワーク圃場でのセンサから得たデータをSigfoxによって収集し、クラウドへデータを格納して、セキュリティを勘案しつつ、農業従事者が農作業中でも使い勝手の良く、手軽にどこからでもアクセス可能なシステムとする。低コストで多数設置することで従来よりも短期間で核心的なデータを取得、分析可能にする。将来的には、誰でもどこでも、ブランド品種などを栽培できるようにする。農業従事者は、データを数値としてではなく、可視的に把握でき、農作業の判断材料に生かすことができる。また、環境の異なる地域でも作物が育つかをシステムで取得した土壌データから知ることができる。

本研究は、根域における土壌のモデル化をするために多点観測できる土壌水分センサの開発、設置方法を検討する。また、根域における同時多点観測可能な直流抵抗式土壌センサの製作をし、電極サイズの特性評価および多点観測土壌センサの評価を行う。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

根域における土壌のモデル化をするための土壌水分浸透センサは、試作品を完成させ、その評価を行っており、継続中である。作物を栽培するために必要な水分量は、品種や土壌の性質などによって異なり、その指標は農業者の経験やノウハウであるため暗黙知である。この指標を定量化するために製作した土壌水分浸透センサを使用し土壌内水流をリアルタイムで測定した。また図1は土壌水分浸透センサの設置方法の一例である。(a)は土壌内水流を二次元的な可視化(x,y方向)が可

能である。三次元的な可視化の模索として(b)の設置方法で実験を行った。結果からの分析及び再設計へのフィードバックはこれからである。

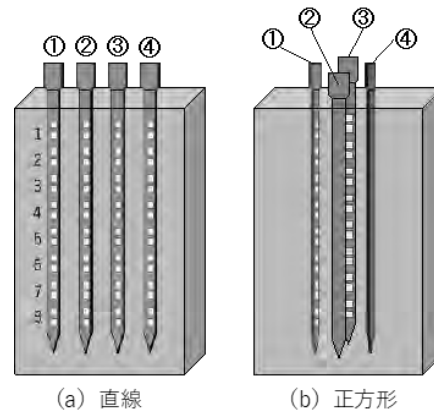


図1 センサ設置方法一例

3. 代表的な研究成果

〔学会発表〕(計4件)

- (1) 澤田陸志, 吉野純一, “土壌水分浸透センサの電極に着目した腐食度合の検討,” 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, C125, December 2019. 査読無
- (2) 酒井健瑠, 吉野純一, “Sigfoxを用いたセンサネットワークシステムの構築,” 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, C123, December 2019. 査読無
- (3) 川島爽義, 吉野純一, “ドローンを事例とした飛行時間延長の一検討,” 第11回大学コンソーシアム八王子学生発表会要旨集, B127, December 2019. 査読無
- (4) 吉野純一, 黒木雄一郎, 米盛弘信, 加藤聖隆, “産学官連携による教育活動の一事例ー相模原市と企業との連携事例ー,” 日本工学教育協会第67回年次大会講演論文集, pp.142-143, September 2019. 査読無

課題研究費実績報告書

令和2年3月31日現在

研究課題名：剣道競技における打突中の対人的動作技能の特性

研究代表者：大野達哉

小区分：体育および身体教育学関連

1. 研究計画の概要

剣道競技（以下、「剣道」という）では、規定の試合場内で2名の選手が竹刀を持って対峙し、互いに攻防を繰り返しながら有効打突を取得し合う1対1の攻防一体型競技である。その動作は約2m以内の至近距離で、競技者の身体移動と竹刀による攻防動作を介し、約0.4秒以内に高速かつ連続して展開されている（奥村・吉田、2006）。そして、剣道の熟練選手は約10cmの単位で距離の詰め引きを行う（Okumura et al., PLoS ONE, 2012）という報告からも、時間的制約の中、正確で合理的な動作の遂行が求められる。すなわち、選手は厳しい時間制約のもと、素早く正確に打突するために合理的な動作が求められる。また、静止している相手を打突する閉鎖技能や個人技能だけではなく、動く相手を打突する開放技能や対人技能の習得が競技の熟練過程において極めて重要になる。なかでも、剣道では多くの個人技能と対人技能を必要とする技が存在するため、我々は選手の実際のニーズや競技現場の現象を把握し、実際にどの技を対象に分析を実施するべきかを明確にする必要性が高い。

本研究の具体的計画として、はじめに1) 選手ニーズの予備調査と競技現場の現象の整理を行った。続いて、2) 対象動作の具体的分析を実施し、3) 結果を指導現場へ還元する知見を得ることを目指すよう計画した。

2. 課題研究の進捗状況及び達成度

1) 選手ニーズの予備調査と競技現場の現象整理

事前の調査の結果、選手は『メン』の『仕掛け技』について技能改善を期待しており、特に競技現場での使用頻度としては『跳び込み技』次いで『出ばな技』が多いことが整理できた。なお、動作実行中に、最も技能を改善したいポイントは『左下肢』及び『体幹』であった。つまり、選手や競技的ニーズからも『メン』の『跳び込み技』

と『出ばな技』、身体移動の主な出力を担う『左下肢』と、身体移動の指標として『体幹（腰部）』の動作を対象に研究を行うことは非常に価値が高いことが明らかとなった（達成度100%）。

2) 対象動作の具体的分析

参加者は、競技レベルの高い選手10名（上級群）と中程度の選手10名（中級群）とした。個人技能と対人技能を比較するために、課題1：跳び込みメンと課題2：出ばなメンの2つの課題を設定し、課題をモーションキャプチャシステムで記録した。

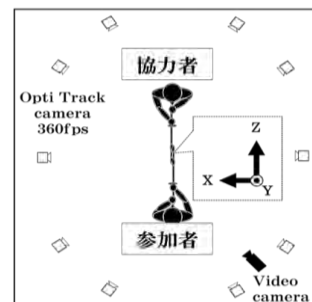


図1：実験設定と座標系

各群の動作時間（総動作時間、身体移動時間、竹刀操作時間）、左下肢（股・膝・足関節角度）と腰（移動距離、上下動、移動速度）の動作のキネマティクスデータを算出した。各分析項目で算出したキネマティクスデータを、動き出しから打撃までの時間を100%として、3次スプライン関数を用いた内挿補間により規格化した。その後、SPSS Statistics Ver. 26（IBM社製）を用い、各課題の群間の差異はt検定を実施し、跳び込み面×出ばな面の課題間の動作の差異には群が繰り返しなし、課題が繰り返しありの2要因混合計画分散分析を実施した。交互作用が得られた場合は、事後検定としてBonferroni法を実施した。全ての分析で有意水準を5%未満、有意傾向の水準を10%未満とし、動作の微細で重要な相違を積極

的に検証できるように α レベルを設定し、統計的分析を行った（達成度 90 %）。

3) 結果を指導現場へ還元する知見を得ること

動作分析の結果から、競技の指導や実践のために有益な情報 4 つを得ることができた。これらの情報を本学剣道部員へ教授し、簡易的な映像の即時フィードバックシステムを用いて運動学習を繰り返し行えるよう環境を整備した。しかしながら、新型コロナウイルスによる影響もあり、現在実施は困難なため、実践への還元へはいたっていない（達成度 30 %）。

3. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕（計 1 件）

- [1] 大野達哉・中村充・鷹見由紀子・岩本貴光・関伸夫・川井良介・碓氷典諒・奥村基生：大学剣道選手の面の跳び込み技と出ばな技における腰・左下肢動作の相違、武道学研究（原著論文として令和元年 11 月 16 日に受理）