

神奈川工科大学

ヒューマンメディア研究センター
研究報告

第13号

2017（平成29年度）

神奈川工科大学

工学教育研究推進機構

ヒューマンメディア研究センター
2017 年度（平成 29 年度）研究成果報告の発刊に際して

研究代表者：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井上哲理

ヒューマンメディア研究センターでは、情報メディアに関する技術、ヒューマンファクタ、そして応用をプロジェクトの中心テーマとしている。そこでは、システム技術、ソフトウェア技術、ネットワーク技術、メディア表現技術を駆使して、自然なコミュニケーションを可能とするシステム、あるいは人間にとって自然な形で情報を提供できるメディアについて基礎研究、応用研究を行っている。研究メンバーは、情報通信分野やメディア制作分野、またメディア応用面の面から工学分野やバイオ・栄養科学分野の研究者も参加・協力している。

基礎研究では、立体映像メディアの表示処理技術、仮想空間に対するヒューマンファクタ及び実応用研究、流体力学に基づく流れの高精度なシミュレーション、サウンドを使った空間提示の研究を行っている。応用研究では映像や音響情報を組み合わせたメディア、それらの栄養管理やストレス評価などの研究が実施されている。

本研究センターは 2005 年度（平成 17 年度）に開設されて 12 年間を経た。当初は文部科学省・学術フロンティア「次世代ヒューマンメディアをコアとする共生共創コミュニケーションシステムの研究」の実施組織として研究を 2009 年度（平成 21 年度）まで実施した。次に 2011 年度～2013 年度（平成 23 年度～25 年度）に学内研究プロジェクト「次世代ヒューマンメディアを活用した体験・体感型学習支援技術の研究」を実施した。ここでは、「立体表現メディア技術」、「仮想空間入出力メディア技術」などの次世代ヒューマンメディア技術を学習・訓練場面に効果的に応用することをめざして、対象や環境への直接体験に近い感覚を得られる学習コンテンツを提案してきた。研究成果の一部は、実用開発段階の研究として、本学の先進研究所プロジェクトへと発展した。

今年度も、従来からの研究テーマを個々の研究員が継続して研究を行うとともに、次のプロジェクト研究に向けたテーマや課題について検討を行った。本研究成果報告書は、その中で得られた知見等をまとめたものとなる。

研究プロジェクトメンバー

研究代表者

情報学部 情報ネットワーク・コミュニケーション学科 井上哲理

研究メンバー

氏 名	所属・職位等	役割分担	報告掲載
井上哲理	情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科・教授	全体統括 仮想空間での評価	報告
上平員丈	情報学部・情報ネットワーク・コミュニケーション学科・教授	3次元インタラクションの 基礎研究	報告 学外発表
谷中一寿	情報学部・情報メディア学 科・教授	3次元コンテンツ提示法の研 究	報告 学外発表
服部元史	情報学部・情報メディア学 科・教授	3DCG コンテンツ作成法の研究	報告
高尾秀伸	創造工学部・ロボットメカ トロニクス学科・教授	仮想環境評価の脳機能面での 基礎研究	学外発表
田中博	情報学部・情報工学科・教 授	動作認識のヒューマンメディ アへの応用研究	報告 学外発表
小島一成	情報学部・情報メディア学 科・准教授	生体計測のヒューマンメディ アへの応用研究	
吉野和芳	創造工学部・ロボットメカ トロニクス学科・教授	訓練コンテンツ作成法の研究	
西口磯春	情報学部・情報メディア学 科・教授	サウンド提示の感性への効果 の研究	
黒川真毅	情報学部・情報メディア学 科・准教授	サウンドの空間認知への 影響評価	
澤井淳	応用バイオ科学部・栄養生 命科学科・教授	ヒューマンメディアの管理栄 養教育への応用	報告 学外発表
原島恵美子	応用バイオ科学部・栄養生 命科学科・准教授	栄養教育へのヒューマンメデ ィアの応用	報告
澤井明香	応用バイオ科学部・栄養生 命科学科・准教授	ヒューマンメディア利用時の ストレス評価	

目 次

(1)	デジタルファブ리케이션における違法造形防止技術に関する研究	1
	上平 員丈	
(2)	仮想空間と現実空間の重畳のための裸眼 3D ディスプレイ	5
	谷中 一寿	
(3)	粒子法 MPS で数値計算した液体の変形運動を CG 可視化する	9
	服部 元史	
(4)	高機能 HMD を用いた仮想環境応用に関する基礎研究	11
	井上 哲理	
(5)	スマートフォンが送受可能な非可聴音を用いた高精度屋内測位法と測位 基盤の構築	13
	田中 博	
(6)	低温混合培養で形成したリステリア菌と緑膿菌のバイオフィルム形成の 抑制	18
	澤井 淳	
(7)	大学野球選手の食生活支援とパフォーマンスの向上	22
	原島恵美子	

デジタルファブリケーションにおける違法造形防止技術に関する研究

研究者代表者名：情報ネットワーク・コミュニケーション学科 上平員丈

1. 研究の目的

本研究の目的は、デジタルファブリケーションにおける違法な造形の防止技術を開発することである。この目的達成ため、本研究期間においては、3D プリンタで造形される物体の内部に著作権情報を埋め込むことにより著作権を保護する技術の実現性を明らかにする。

2. 研究の必要性及び従来の研究

近年、デジタルデータである 3D モデルデータから実物体を造形するデジタルファブリケーションが注目されている。なかでも 3D プリンタは、個人でも購入可能な安価な機種が発売されるようになっており、今後はオフィスや学校はもとより一般家庭にまで広く普及していくと予想される。3D プリンタが自宅にあれば、インターネットなどを介して 3D モデルデータを購入し、自宅で「もの」としての商品を製造することが可能になる。このためインターネット上で 3D プリンタ向けのデジタルデータを販売するサイトが増えつつある。しかし、デジタルデータは簡単にコピーでき、入手すれば 3D プリンタでだれでも簡単に「もの」をいくつでも作れるので、3D プリンタ向けのコンテンツビジネスを発展させるには、従来のデジタルコンテンツの場合と同様に違法コピーや不正使用を防止するための著作権保護技術が不可欠となる。

従来、デジタルコンテンツの著作権を保護する技術として、電子透かし技術をはじめ種々の技術が開発されているが、いずれも不正が疑われるデジタルコンテンツに対し、デジタル処理を施して不正か否かを判定するものである。これに対して、3D プリンタ向けの 3D モデルデータの場合は、データを購入するものの、ユーザが最終的に入手するのは、そのデータから造形した実物体であるので、従来のデジタルコンテンツ用の技術を適用することはできない。すなわち、最終出力として実物体が製造される場合の 3D モデルデータの著作権保護技術が必要となる。しかし、そのような技術は未だ存在せず今後の開発が課題となっている。

3. 期待される効果

「もの」づくりや物流に変革をもたらすと期待されている 3D プリンタを発展させる上で 3D モデルデータの著作権問題は避けて通れない課題であり、本技術はこの課題を解決できるため、3D プリンタの普及・発展に貢献するという効果が期待できる。さらに、実物体ベースの情報ハイディングという新しいコンセプトに基づく応用分野開拓の可能性を提供するという点においても効果は大である。

4. 研究の経過及び結果

上記目的を達成するため、本研究では3Dプリンタ造形物内部に著作権情報を表現するパターンを埋め込み、これを外部から非破壊で読み出す技術の研究を進めている。今年度は3年計画の最終年度となるが、過去2年間において、上記目的を達成する2つの方法を試みいずれもその実現性を確認した。第一の方法は埋め込みパターンを造形物の母体と熱伝導率の異なる領域として表面近くの浅い位置に形成する方法である。造形物の表面を光照射などで加熱すると熱伝導率の違いによって表面の熱分布において内部パターンが現れるのでこれをサーモグラフィーで読み取ることにより内部パターンを読み出すことが可能になる。第2の方法は近赤外線カメラで内部パターンを撮像する方法である。普及版の3Dプリンタで用いられる樹脂系の材料は近赤外性を透過する。したがって、内部パターンを近赤外線に対し透過率や反射率の異なる材料で形成すれば近赤外線カメラにより内部パターンを撮像できる。

本研究は当初3Dモデルデータの著作権保護を目的としたが、本技術では3Dプリンタ造形物をIoTにおける「もの」として活用できる可能性があり、最終年度となる平成29度は予定を変更してIoTへの応用などを念頭においた新規アプリケーションの開拓を目的とした技術の拡張化や高度化に重点をおいた。具体的には従来のバイナリーコードに加えIoTでも活用しやすいQRコードの埋め込みを検討した。また、蛍光色素を用いて高コントラストの埋め込みパターンを撮像できる方法についても検討した。

4.1. QRコードの埋め込みと読み出し

バイナリーコードに加えQRコードの埋め込みと読み出しを検討した。内部に埋め込まれたQRコードパタンの設計例を図1に示す。QRコードパターンを埋め込んだ造形物を図2に示す。図2に示す造形物はABS材料を用いて造形した。サイズは50mm×50mm×10mmとし、表面から0.75cm、1.0cm、1.25cmおよび1.5cmの深さにパターンを形成した。

内部パタンの撮影画像の例を図3に示す。この画像は波長が1550nmの近赤外線光源を試料の背面から照射して撮影した透過像である。図3はQRコード読み取りソフトにより読み取りが成功したこ

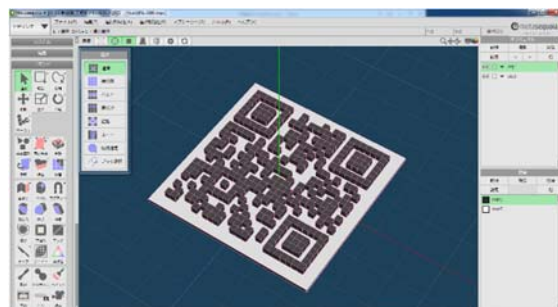


図1 内部に埋め込まれたQRコードパタンの設計例
QRコードの情報：<http://www.kait.jp>

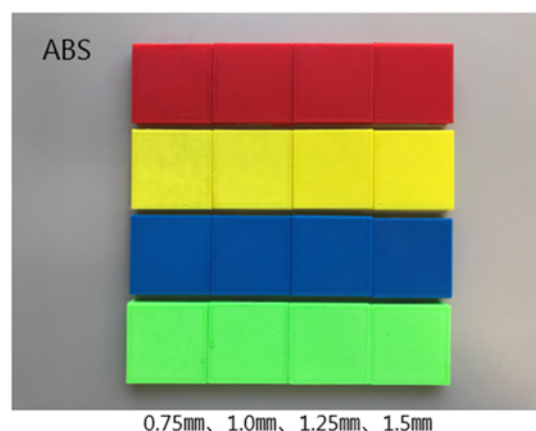


図2 3Dプリンタ造形物
造形物サイズ：50mm×50mm×10mm

とを示している。実験の結果、緑色の ABS 材料で形成した試料を除き、表面から 1cm 以内の深さにパタンを埋め込めば確実に QR コードを読み出せることが確認できた。

4.2. 蛍光色素を用いた高コントラスト化

これまで検討してきた近赤外線による内部パタンの撮影では内部のパタン以外からの光もカメラに捉えられ、これがノイズやコントラスト低下を生じさせ、その結果パタン検出精度を低下させる要因となっていた。例えば、透過像においては、強度保持のための内部構造物などパタン以外の構造の映り込みや、反射像の場合は光源光の造形物表面からの反射もパタン検出を難しくする要因となっていた。

蛍光色素を含む樹脂で内部パタンを形成すればこれらの問題の解決が期待できる。図 4 にその原理図を示す。光源から発した波長 λ_A の近赤外光が内部パタンに入射すると、この入射光が励起光となって蛍光色素が発光する。この発光光の波長は入射光とは異なる波長 λ_B ($> \lambda_A$) である。光源から発した近赤外光の一部は造形物表面で反射するが、カメラのレンズの前に λ_A より短い波長の光を遮断するローパスフィルタを配置することにより、内部のパタンから発した光のみカメラに取り込めるのでノイズの少ない高コントラストの内部パタン像が撮できると期待できる。

図 5 にパタン領域に微量の蛍光色素を含ませた試料の撮像画像例を示す。この試料の材料は ABS である。図 5 より従来法に比べて本方法では、高コントラストでノイズの少ないパタン像を撮像できることが確認できる。

5. 今後の計画



図 3 QR コードの読み取り例

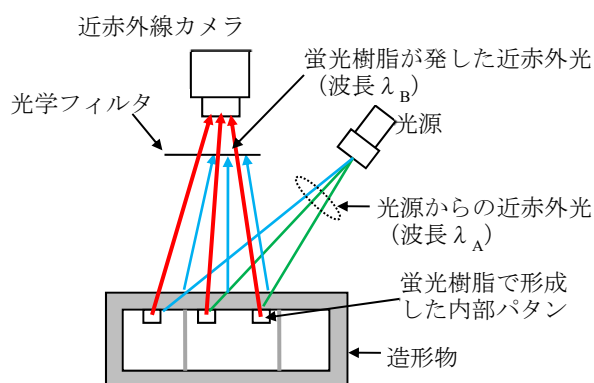
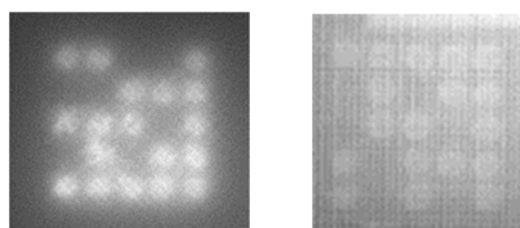


図 4 蛍光色素を含む ABS 樹脂で内部パタンを形成する方法



(b) 蛍光色素を含むパタン (a) 従来法でパタンを形成

図 5 近赤外線画像の例(反射像)

(1) 蛍光色素を用いる造形物の最適製造条件の明確化

蛍光色素の含有量は微量のためパターンを表面から浅い位置に形成しても外部から知覚されにくい。一方、表面から深い位置では近赤外線の散乱によりパターン像のボケが大きくなるのでできる限り浅い位置にパターンを形成するのが望ましい。パターンの不可視性と鮮明さの両方から最適な構造を明らかにする。

(2) プラスチック系以外の材料での実現性を評価

業務用などで使用されている金属、ナイロン、石膏などの材料で造形された物質について、内部の構造化の可能性とサーモグラフィーによる読み出し法の適用性を明らかにする。

(3) 新規応用の開拓

著作権保護以外の新たな応用を創出する。特に IoT への応用を具体的な形で示していく。

6. 研究成果の発表

[1] 松本知久、中村耕介、鈴木雅洋、鳥井秀幸、高嶋洋一、上平員丈、" 近赤外蛍光樹脂による 3D プリンター造形物内への情報埋め込み", 電子情報通信学会 EMM 研究会予稿、(2017.11)

謝辞

本研究で ABS 樹脂に含有させた蛍光色素を提供して頂いた DIC 株式会社様に感謝致します。

仮想空間と現実空間の重畳のための裸眼 3D ディスプレイ

研究者名：情報メディア学科 谷中 一寿

1. 研究の目的

ミクストリアリティにおいて特殊なメガネなしで現実空間と仮想空間とを重ね合わせるための立体表示方式としては、横だけでなく縦方向にも視差を生ずるインテグラルフォトグラフィ (Integral photography, 以下 IP と略す)方式が望ましい。特に IP の一種で、かつ筆者らが提案した拡張フラクショナルビュー (Extended Fractional View, 以下 EFV と略す) 方式を用いれば、安価に高品質な IP が実現できる。ミクストリアリティでは、仮想空間と現実空間の重なる領域が大きいことが望ましく、そのため飛出し量の増大や大画面化などが求められるので、それらに必要なさまざまな技術を確認し、かつそれらの技術を用いてユーザビリティに優れたシステムを構築することを目的とする。

2. 研究の必要性及び従来研究

両眼視差を利用した数ある 3D ディスプレイの中でも 1908 年にリップマンが提案した IP は、ホログラフィにも似た優れた特徴を有する優れた方式であるが、実用化はかなり先と考えられてきた。その理由の一つは、非常に高精細な液晶ディスプレイ (LCD) やそれ専用のフライアイレンズが必要なため、非常に高価なものになってしまうことがある。筆者が提案した EFV 方式を用いれば、図 1 に示すようにフライアイレンズのピッチと LCD の画素ピッチの比率が整数に限定されないため、安価な既製品で IP を実現することができる。しかしながらこの方式をミクストリアリティに適用するには、立体表示の飛出し量の増大や大画面化をはじめ、ゲームエンジンを用いた立体視コンテンツ制作法の確立、ビデオシースルーに向けた実写 IP 画像の入力など、解決すべき課題がある。

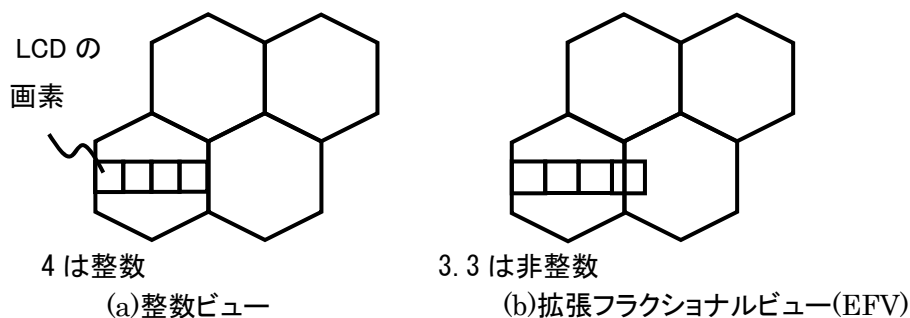


図 1 整数ビューと拡張フラクショナルビューの違い

3. 期待される効果

本研究によって、従来 EFV 方式で実現されてきたものよりも飛出し量を多く確保でき、

仮想空間と現実空間が重なる領域が広がるので、インタラクションが容易になる。また、ユーザの操作に応じて実時間で立体表示された物体を動かすことができるようになる。それにより、バーチャルリアリティやミックスリアリティなど、人とコンピュータがより自然にインタラクションを行うことが要求される用途に適用できるようになる。

4. 研究の経過及び結果

平成 29 (2017) 年度には、以下のような進捗があった。

4. 1 ゲームエンジンを用いた実時間 IP [1]

アニメーションには、映画のように事前にレンダリングして編集しておいたものを再生する方式と、ゲームのように、ユーザーとのインタラクションによって、シーンが無限に変化してゆく方式とがある。後者の場合、実時間処理が必要になる。すなわち 1 フレーム時間の間に次のフレームの画像を生成する必要があるので、非常に高速な処理が求められる。IP 画像の合成にゲームエンジンを使用すれば、その高度なコンテンツ作成機能が利用できるだけでなく、シェーダーで処理を高速化できる。今年度は、ゲームエンジンのシェーダーと C# スクリプトを用いて多視点レンダリングと IP 画像合成機能を実装し、IP 画像を実時間表示するコンテンツを開発した。

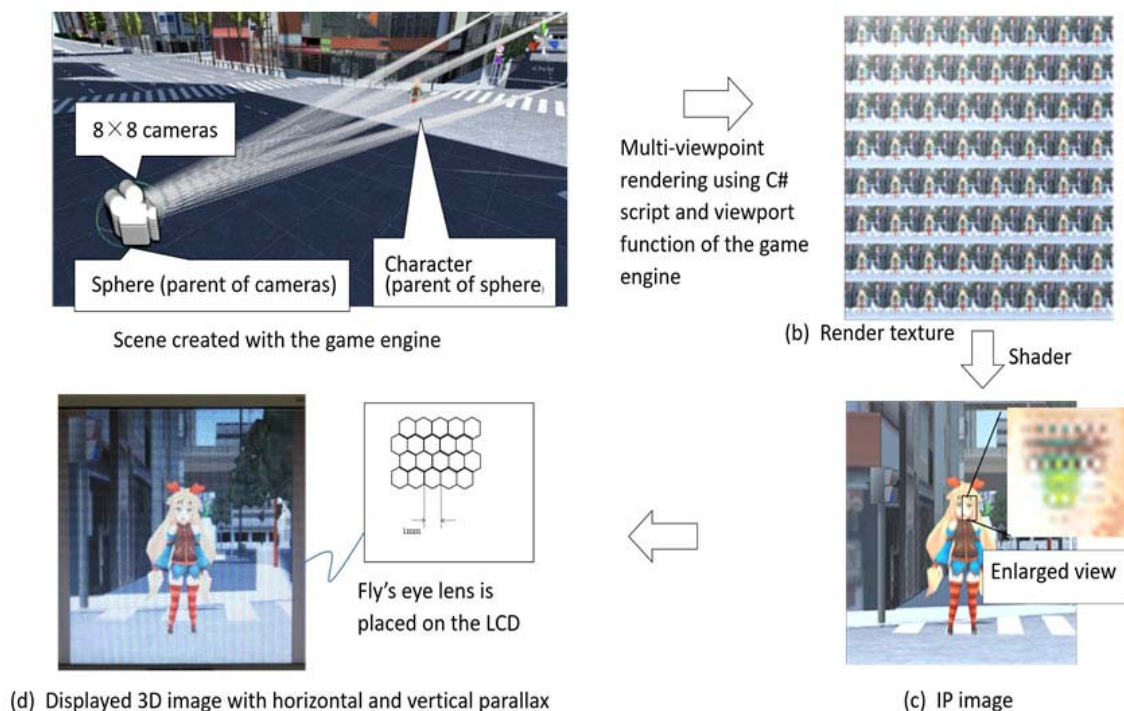


図 2 ゲームエンジンを用いた実時間インテグラルフォトグラフィ



4. 2 4プレーン DFD を用いたアニメーション [2]

DFD (Depth-fused 3D) ディスプレイは、1つのオブジェクトが実際は奥行き位置が異

なる 2 層の透明な平面のそれぞれに描かれているにもかかわらず、両者の輝度の比率を変え、あたかも 2 つの平面の途中のどこかに位置するように見える錯視現象を利用したユニークな裸眼立体画像表示方式である。2016 年にわれわれのグループは、ただ 1 枚のフラットパネルディスプレイ上にミラーやハーフミラーを配置することにより、4 層にする方式を提案した。しかし表示される 3D 画像は静止画像に限られていた。2017 年度にはこれを発展させ、4 プレーンにわたって金魚が泳ぐアニメーションを表示できるようにした。

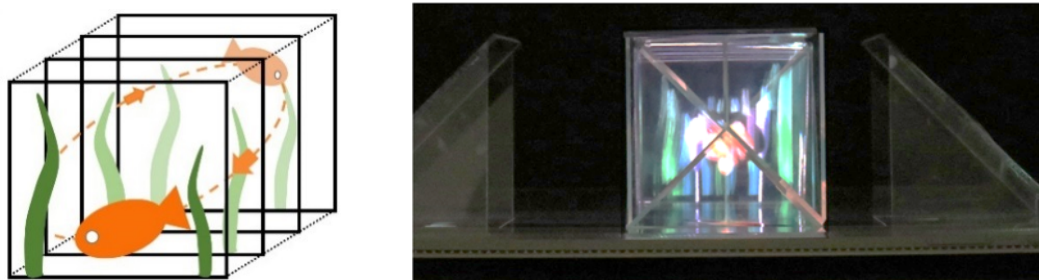


図3 アニメーションの際の金魚の軌跡（左）とシステムの外観（右）

4. 3 ゲームエンジンを用いた IP ホログラフィックピラミッド [3]

ゲームエンジンを使用し、そのシェーダを書くことによって、浮遊しているように見える IP のアニメーションを表示することができる新しいホログラフィックピラミッドシステムを開発した。ピラミッドの 4 つの面には、オブジェクトを前後左右から見たアニメーションが表示される。すべてのアニメーションは裸眼立体視でき、水平視差 d あけでなく垂直視差もある。ユーザーは、キーボードを操作することによってオブジェクトを左右に回転させることができる。このシステムは、実物と仮想のオブジェクトが 1 つのピラミッドに共存できるため、裸眼立体視可能な複合現実感システムとみなすことができる。

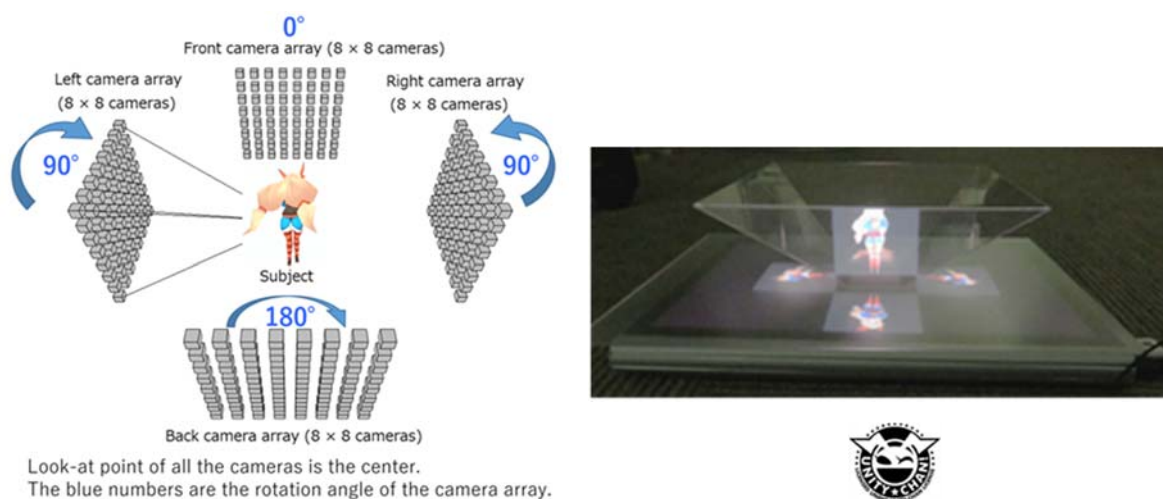


図4 カメラアレイの回転（左）とシステムの外観（右）

4. 4 IP による Google Earth の立体表示 [4]

Google Earth は、誰もが世界中の衛星写真を Web で閲覧できる素晴らしいアプリケーションである。山々や都市部の建物は 3D で表現されており、ユーザーのマウス操作によって上下左右に視点を移動できるが、まだ裸眼立体表示機能はない。そこで本研究では、Python の GUI 自動化ライブラリである PyAutoGUI を用いて、視点を予めプログラムされた通りに移動させ、そのスクリーンショットをファイルに保存する Python スクリプトを開発した。取得した画像を別のプログラムで合成することにより、ステレオメガネが不要で水平だけでなく垂直にも視差のある IP 方式の立体画像が得られた。Google Earth がカバーしている場所であれば、世界中どこでも IP で表示できる。

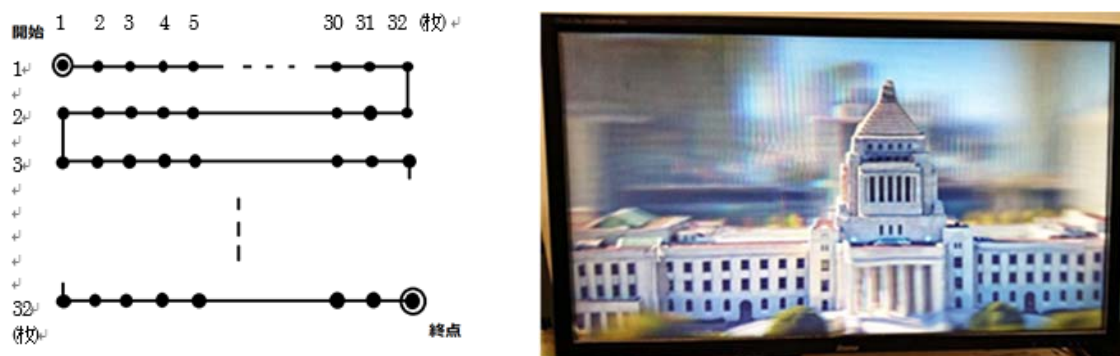


図5 PyAutoGUI で実装した視点移動（左）と IP 画像表示結果（右）

5. 研究成果の発表

- [1] Shohei Anraku, Fumihiko Ishiwata, Nahomi Maki, Toshiaki Yamanouchi, Kazuhisa Yanaka, Real-time integral photography using a game engine, ACM SIGGRAPH 2017 Posters, two pages, 2017.
- [2] Nahomi Maki, Toshiaki Yamanouchi, Teluhiko Hilano, Kazuhisa Yanaka, Creation of 3DCG animation using a four-plane depth-fused display, ACM SIGGRAPH 2017 Posters, two pages, 2017.
- [3] Shohei Anraku, Toshiaki Yamanouchi, Kazuhisa Yanaka, Real-time Integral Photography Holographic Pyramid using a Game Engine. Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications - Volume 4: VISAPP, pp. 603-607, 2018.
- [4] 高津原 智史, 山内 俊明, 谷中 一寿 : Google Earth のインテグラルフォトグラフィによる立体表示、画像電子学会第 284 回研究会 in 広島予稿, 17-03-23, pp. 123-128, 2018 年 3 月 2 日発表.

粒子法 MPS で数値計算した液体の変形運動を CG 可視化する

研究者名：情報メディア学科 服部 元史

1. 研究の目的

流体領域が分離したり融合したりする液体の激しく変形運動を数値計算シミュレーションできる手法として粒子法 Moving Particle Simulation に注目している。粒子法 MPS で数値計算された結果は、各時刻における膨大な個数の粒子群の位置 (X 座標, Y 座標, Z 座標) として得られる。液体の運動の様子を視覚的に確認するためには、そのような粒子群の位置から 液体領域の自由表面を抽出する必要がある。

自由表面を抽出する手法として Marching Cube 法に注目した。流体領域を囲む空間を膨大な個数の立方体格子で覆い、それぞれの立方体の各頂点における液体の質量密度を計算する。質量密度が閾値以上の領域を液体の領域と見なし、質量密度が閾値以下の領域を空気の領域と見なす。Marching Cube 法を並列計算で実装するにあたって、メモリ消費量ができるだけ小さくなるように、アルゴリズムを改良する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

通常の Marching Cube 法を用いて液体領域の自由表面を抽出するにあたっては、全ての格子の全ての頂点における質量密度を計算してから 自由表面を近似する Polygon 面たちを計算して行くため、膨大なメモリを消費する。例えば流体領域を囲む空間を 縦に n 等分 横に n 等分 奥行きに n 等分するならば、消費するメモリの量は $O((n+1)^3)$ に成ってしまう。

そこで、一つの格子の 8 つの頂点の質量密度を計算した時点で 自由表面を近似する Polygon 面を計算してしまい、Polygon 面が得られたら 8 つの頂点の質量密度の計算値を廃棄してメモリを開放する。そのようにメモリを開放してから、次の 8 つの頂点の質量密度を計算し、その時点で自由表面を近似する Polygon 面を計算してしまい、Polygon 面が得られたら 8 つの頂点の質量密度の計算値を廃棄してメモリを開放する。このような手続きを全ての格子に対して実施するように、Marching Cube 法のアルゴリズムを改良した。

このようにアルゴリズムを改良することによって 消費するメモリ量を大幅に削減できるが、検出される自由表面の質が落ちる (液体領域の自由表面を近似する Polygon 面たちの近似精度が劣化する) 事が懸念される。

3. 期待される効果

隣接する格子どうしは頂点を共有している。このように共有されている頂点の質量密度は一つの格子において計算されれば十分であり、隣接する格子において再び計算される事は計算時間の無駄である。そこで 一つの格子において頂点の質量密度が計算された場合に、その頂点を共有している別の格子において 頂点の質量密度を再び計算する無駄は省き

前の格子において計算された質量密度を再利用するようにアルゴリズムを改良した。

4. 研究の経過及び結果

上記のアルゴリズムの有効性を検証するべく、3次元空間(X軸 Y軸 Z軸)に対して実装する前に、2次元平面(X軸 Y軸)に対して実装した。様々な液体領域を表現する粒子群に対して、自由表面を検出してみた。結果の一部を図1, 図2に示す。

消費するメモリ量を削減できる代わりに 検出される自由表面が劣化する可能性も考えられたが、図1, 図2などの結果を視認する限り おおむね正しい自由表面が検出された。

5. 今後の計画

並列計算によって計算速度を速くしながら メモリ消費量も削減できるようにアルゴリズムを改良しながら自由表面を検出できる Marching Cube 法を 2次元平面に対して実装できた。この成果によって 液体が変形運動する現象を 粒子法 MPS で数値計算しながら その途中経過を示す流体領域の形状を Real Time に描画できる可能性が得られた。

この成果を 3次元空間へ実装し直す事も今後の課題である。

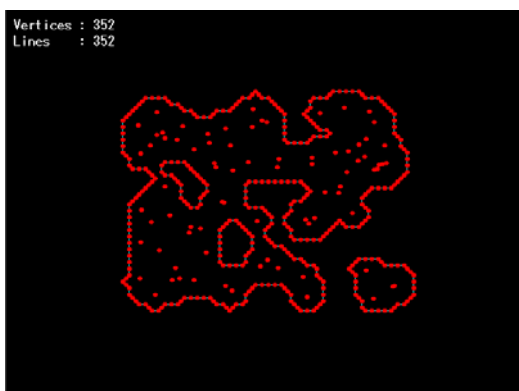


図 1-a : 計算された Polygon 面



図 1-b : 検出された自由表面

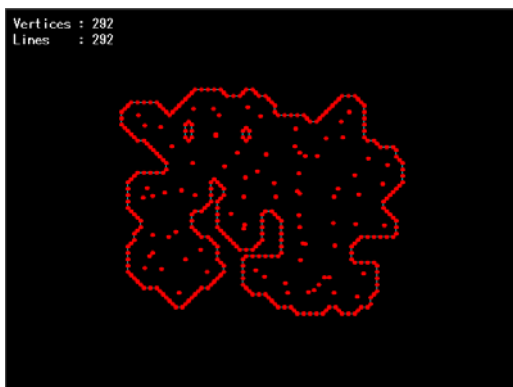


図 2-a : 計算された Polygon 面

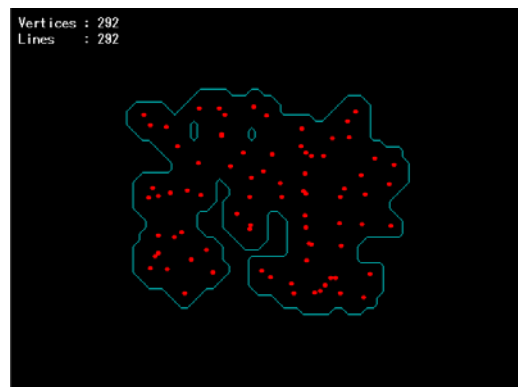


図 2-b : 検出された自由表面

高機能 HMD を用いた仮想環境応用に関する基礎研究

研究者名：情報学部 井上哲理

1. 研究の目的

ヒューマンメディア研究センターでは、没入感の高いディスプレイについて、ヒューマンファクタ面の基礎研究と没入型ディスプレイの応用研究を進めている。近年は、広い視野角で映像提示が可能な高機能 HMD（頭部搭載型ディスプレイ）を用いた仮想環境に関する基礎・応用研究を推進している。今日の高機能 HMD は高精細、広視野映像の提示が可能であり、ヘッドトラッキング機構による 360 度映像表示が可能、さらに安価であり、ソフトウェア面・付加デバイス面でもサポートが整いつつあり、将来的な実用化に向いているためである。

本研究課題のテーマとして高機能 HMD の応用面、基礎特性面を取り上げている。今年度は次の 3 テーマを中心に研究を行った。

(1) 高機能 HMD を用いた野球トレーニング仮想環境に関する基礎研究

高機能 HMD で表示された野球実施環境がトレーニングとして活用できるかを調べる研究である。昨年度に引き続き、今年度は仮想的なバットを組み込むことを行った。

(2) 高機能 HMD 表示での歩きスマホ体験に関する基礎研究

スマートフォンを見ながら歩く、いわゆる歩きスマホの状況を仮想環境に実現して、この環境下で歩きスマホの体験や安全対策が可能かを調べる研究である。今年度は基礎的な環境制作を実施した。

(3) 仮想空間における仮想ハンドモデルに関する基礎研究

HMD で表示される仮想空間に、ユーザの手の動きと連動した手の CG モデル（仮想ハンドモデル）を表示した際の特性を調べる実験を実施した。

2. 研究の必要性および従来の研究

ヒューマンメディア研究センターは、バーチャルリアリティ（仮想空間）技術を中心とした次世代ヒューマンメディアを実場面に応用していくことを目指している。本研究課題では没入感の高いディスプレイシステムとして高機能 HMD を用いた応用コンテンツに関して研究してきた。

3. 期待される効果

本研究課題は没入感の高いディスプレイシステムを多様な実場面で応用することを目指している。この研究課題では、仮想環境が実体験と同等の体験を提供可能と考えており、体験学習や技能トレーニング・訓練場面への応用は有効であり期待は大きい。

4. 研究の経過及び結果

4.1 高機能 HMD を用いた野球トレーニング仮想環境に関する基礎研究

没入感の高い仮想空間の応用分野としてスポーツトレーニングがある。実場面では難しい条件でのトレーニングや、アスリート自身の動きを仮想空間で評価しながらのトレーニングなど、新しいトレーニング方法が可能となる。昨年度から高機能 HMD を用いた野球トレーニング用の仮

想空間を目指して、その基本コンテンツの制作を開始した。本年度は、ユーザのバットの動きを反映する CG モデルを加えた。このシステムでは位置・回転を計測できるトラッキングデバイスをバット下部に装着して、その動きを仮想環境のバット CG モデルに連動させるものである（図 1）。実験では、本学の野球部員にボールとバットの見え方などを評価してもらったが、仮想環境のクオリティの低さが気になるが、練習への応用の可能性は十分あるとの結果であった。バットが空間に浮いている状態に大きな違和感があるとの意見から、仮想環境にユーザの手腕モデルを表示することを次に検討する予定である。



図 1 仮想環境でのバットモデル

4.2 高機能 HMD 表示での歩きスマホ体験に関する基礎研究

歩きながらや運転中のスマートフォンの使用は事故につながる危険性があり、対策が求められている。仮想環境で歩きスマホの状況を現実と同じような環境として作ることができれば、危険場面の体験、事故防止策などに役立つ可能性があり、高機能 HMD の応用として、歩きスマホが体験できる仮想環境の第一弾を制作した（図 2）。今後さらに改良していく。



図 2 歩きスマホを再現した仮想環境

4.3 仮想空間における仮想ハンドモデルに関する基礎研究

仮想環境内にユーザの手を入れることを検討した。これをハンドモデルと呼び、ユーザがまるで自分の手のように感じるかどうか、感じさせるための要因を調べる研究を開始した。ハンドモデルが実現できれば、仮想環境の応用が大きく広がると期待できる。今年度は、ユーザの手に装着した位置・回転センサーに反応する CG モデルを制作した（図 3）。ユーザ実験からは、モデルと手とのスムーズな連動と、モデルの形状が、自分の手の感覚を持たせるには重要だと分かった。

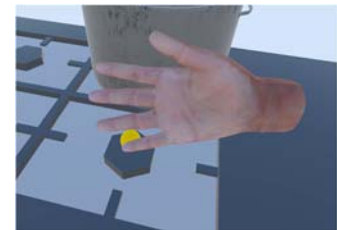


図 3 仮想ハンドモデル

5. 今後の計画

本年度の高機能 HMD を用いた各種の応用コンテンツの制作と実験を継続する予定である。

6. 研究成果の発表

今年度の研究の成果発表は未だない。今後の研究成果と合わせて学会発表を行う予定である。

（以上）

スマートフォンが送受可能な非可聴音を用いた 高精度屋内測位法と測位基盤の構築

情報工学科 田中 博

1. 研究の目的

位置情報はナビゲーション、情報提供や物流管理などに利用され、極めて有用な情報である。屋外での位置情報取得手段としては GPS がすでに広く普及し、事実上の標準システムとなっている。しかし、屋内エリアでの位置情報取得のための測位方法は、一般に屋外よりも高精度な位置検出が要求されるものの、GPS のように一般的な方法としては確立していない。

我々はこの問題点の解決手法の一つとして、広域な屋内エリアに適用可能な経済的、かつユーザ要求（精度、エリア等）に柔軟に対応可能な測位方法の検討を進めている。具体的には電波を用いる方法に比べて高精度な測位が可能な音波を用いることを前提に取り組んできた。

研究の進捗とともに、所定の精度（数 cm 以下の誤差）を実現することはできた。H28 年度からは、音の持つ波としても性質を利用したデータ伝送を検討している。これによって、測位機能と通信機能を同一ハードウェア構成で実現でき、より適用範囲の拡大につなげられる可能性がある。一方で、検討しているシステムは音をセンシングする構成であり、ソフトウェア処理により音の識別、認識の機能を実装することも可能である。これらを通して、音を用いた測位、通信、認識機能を実現し、知的な空間を構成するための技術としての確立を目的とする。

最終的には、明らかにした要素技術を広域屋内測位プラットフォームとしての汎用化を実現し、多様な応用システムへの展開を容易とすることを目的とする。さらに、具体的事例として、実用的なアプリケーションシステムを構築、デモンストレーションによりその有効性を実証する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

屋内での位置検出については、大規模な地下街やアーケード内でのナビゲーション、視覚障がい者のためのガイダンス、工場内での搬送車両の位置管理や自動運転など多くの適用領域が考えられるが、実際にそれらの要求に答えることができる汎用的なシステムは実用化されていない。

前述に示したように屋内での測位法として確立されたものはなく、(1)無線 LAN などの電波強度や到達時間差を用いたもの、(2)RFID を床等に配置し、その受信から位置を割り出す方法などが多く検討されている。しかし、(1)では精度的には数 m の誤差が生じること、(2)では広いエリアでの測位を実現しようとする RFID を稠密に配置するために膨大な数量の RFID が必要となり、現実的なシステムとはならない。一方、デッドレコニングと呼ばれる慣性センサを用いた測位も多く提案されているが、その蓄積誤差を補償する方法も提案さ

れているが、精度的には m オーダーであり、課題は解決されていない。

我々の提案手法と同じ原理である音波を用いた測位法の研究例はあるものの、これらは狭い空間や室内での位置を正確に測るという観点で検討されている状況にあり、広域への展開は考慮されておらず、実用レベルには至っていないのが現状である。

また、音を用いたデータ伝送技術、音の識別、認識技術に対する個々の研究は行われているが、個別の技術、システムとなっているのが現状である。マイクセンサという入力インタフェースは共通であり、その他は基本的にソフトウェア処理によって実現可能である。積極的に音を利用することにより、共通のシステム構成で測位、データ伝送や音の認識による環境推定を展開できる可能性があるが、具体的な研究事例は筆者らの知る限り見当たらない。

3. 期待される効果

現在のシステムにない屋内での広域エリアに適用可能な高精度な測位システムを提供できる。そして、屋内版 GPS として、多くのアプリケーションを展開できる基盤技術、プラットフォームと成り得る。合わせて、要素技術の研究開発に留まらず、汎用プラットフォームとしてその上に応用システムを構築し、実証システムとして実現するため、単なる学術的な成果という観点ではなく、産学共同研究や事業への展開の可能性も期待できる。特に、データ伝送、音の識別・認識機能を加えることができれば、より多様な応用が期待できる。

4. 研究の経過及び結果

平成 29 年度は、前年度検討と実現性を実証した音にセンサデータなどの情報を埋め込む方法を検討し、測位機能とデータ伝送機能を両立したシステムを開発した。その経過と結果を以下に示す。

(1) 測位機能とデータ伝送機能の共存の実現

数年来に渡って行ってきた測位機能と昨年度検証した音の変調によるデータ伝送機能（測位音源に受信タイミング検出のためのスペクトル拡散を施す前に、0, 1 からなるデータ系列を用いて 1 次変調を行い、受信側で逆拡散、復調する方式である。）を同一ハードウェア構成で実現した。これは、GPS/GNSS において電波で行われている測位とデータ伝送を音波で実施するというコンセプトである。

ここで、データ伝送のために、下記 (b) で述べる送信機を開発した。受信側は、逆拡散、相関処理、復調処理（これらは PC 内のソフトウェアで実現）によって、測位計算のための音源の受信時間差算出とセンサデータの取り出しを行う。まず、上記手法を MATLAB シミュレーションによってその妥当性を確認後、2 つの機能を統合し、その動作を確認、評価した。なお、上記システム開発の過程において、以下の改善策を検討し実装した。

(a) 測位時間間隔の短縮

昨年度までは、音波の増幅信号の PC への取り込みにマイコンボード内の A/D 変換機を利用していたが、その処理遅延が問題となっていた。そこで、高速処理可能な A/D 変換器（コ

ンテック AI0-163202FX-USB) を選定して測位機能とデータ伝送機能の共存システムに組み入れ、測位の時間間隔として 0.1s 程度を実現した。

(b) 送信機の開発

センサを具備するとともに実験を考慮して所定の大きさ（フットプリント 35×110mm）以内の条件を考慮し、マイクロ PC (Raspberry PI Zero) を用いて、送信機を設計、製作した。センサを搭載し、送信機の機能であるセンサデータの取り込み、音源生成、一次変調、スペクトル拡散の機能を Python を用いてソフトウェアで実装するとともに、増幅器、下記(c)のスピーカを用いて実装した。

(c) スピーカの選定

データ伝送性能の比較として入手性を考慮し、5 種のスピーカを候補として選定し、性能特性評価を行った。その結果、指向性、寸法、20kHz 以上の高周波出力の観点から UNISON 社の U238S4WC（プラスチックコーンスピーカ）を選定した。

(d) 測位性能・データ伝送性能の実現と評価

騒音環境や多数の測位音源が存在する実環境における評価のために、(i) 音源を 2 個使用、(ii) 騒音環境として昼食時の学食で実験を行った。その結果、音源 2 個の場合はスペクトル拡散における疑似乱数 (M 系列) の次数を高次 (8 次から 9 次) にすることで性能が確保できることを実験的に確認した。また、学食の実験では、M 系列次数 8 次でも、雑音に強いといわれるスペクトル拡散の性質から、ほとんど性能劣化の影響がないことを確認した。

(2) 音の識別・認識機能の実現のための構成

測位用の音を検出しているマイクセンサは、測位音源を含めた全ての環境音を検出している。これを積極的に利用することにより、測位機能と音の識別・認識機能を同一構成で実現できることになる。H29 年度においては、マイクセンサが受信する信号を測位用信号と音源の識別・認識用に分岐する基板回路を試作した。当面の課題として、音源の識別・認識として簡単な対象を取り上げ、両者がソフトウェア上で共存できることを確認する作業が残っている。

(4) 測位システムのドローンの高精度屋内自動飛行の検討

高精度な屋内測位が必要な領域の一つに、屋内を走行するロボット、搬送車両などの位置検出とナビゲーションがある。H29 年度は、ドローンへの適用の検討を開始した。超音波を単純に送信する測位方式では、ドローン飛行時の騒音の影響を受ける可能性が高いことが判明した。このため、超音波の出力を上げることが必要となっている状況にある。

5. 今後の計画

H30 年度は以下の項目に注力して検討を進める。また、同時に外部発信にも継続して努力する。

(1) 測位機能と情報送信機能を両立した高機能測位システム技術

昨年まで行ってきた検討の成果をまとめ、ジャーナル論文として投稿する。さらに、課題

として残っている以下の点に関して優先度，リソースの状況を鑑みて，具体的な実施項目を決定する．

- (a) 設置負荷軽減のための，各受信機がケーブル接続している形態からワイヤレス接続による構成の実現
- (b) 測位時間間隔の短縮化とデータ伝送遅延の低減による高性能化
- (c) ドローンを用いた実証実験を考慮した測位エリア拡大のためのアーキテクチャの検討

(2) 音の識別・認識による環境推定への展開

H29 年度に試作したマイクセンサが受信する信号を測位用信号と音源の識別・認識用に分岐する基板回路を用いて，簡単な音源の識別・認識機能を実装して，両者がソフトウェア上で共存できることを確認する．

上記確認後，環境音を受信し音の識別・認識による間接的な環境推定手法の検討を推進する．ここで，音の識別・認識の目的，利用対象の設定は，極めて重要なポイントである．実際に聴覚障がいを持つ方の意見を踏まえ，識別・認識対象を決定する．

- (a) 家電の動作音，環境音から，その人の行動や居場所からの行動推定を行う，という主旨である．独居老人の見守りやその他，応用範囲は広いものと思われる．

(b) 警報音などの推定

聴覚障がい者にとって，周辺の音が聞こえないことに対する不安は大きいと思われる．サイレン，火災報知器などの警報に関するものや電話の音，ドアベルなども考えられる．

(c) オフィスでの環境音の推定

話者，電話のベル，事務機器の動作音，など環境音が見える形にすることによる安心感，一体感が期待できる．

ここで認識手法として，各種特徴量の抽出とそれらを識別による従来から実績のある方法，近年大きく注目されている深層学習の2つの観点からのアプローチを試みる．

(3) 音による各種サービスプラットフォームアーキテクチャの検討と実証

上記述べた(i)音による測位，(ii)音による情報の送受信，(iii)音による環境推定・行動推定を同一ハードウェア構成で実現するプラットフォームの実現を目標とする．この最適なアーキテクチャ構成，機能分担，ソフトウェア構成を明らかにする．このとき，ユーザの要求に柔軟に対応可能とすべく，機能，装置のモジュール化，ブロック化を視野に入れた検討を行う．

(4) ドローンの屋内高精度飛行への応用

測位システムをドローンの屋内高精度飛行に適用する．ドローンの飛行音の影響を含め，現状のオープンソースとして公開されているドローンの飛行制御プログラムをベースに，測位システムから得られる位置情報を用いて改修する．そして，実験的に達成可能な精度を含め，具体的な問題点を明らかにする．

(5) 外部発信

学会発表に加え、CEATEC への出展を計画する。引き続き、実証実験パートナーの開拓を目指す。

6. 研究成果の発表

上記遂行にあたって、H29 年度に発表した主なものを以下に示すとともにその別刷りの一部を添付する。

- (1) 門倉 丈, 森下 航平, 五百蔵 重典, 田中 博, 屋内測位用音源への情報データ埋め込みに対する伝送特性の評価, 平成 29 年度測位航法学会全国大会, 1page
- (2) 森下 航平, 門倉 丈, 五百蔵 重典, 田中 博, 測位用音源を用いた情報伝送の提案とその評価, 第 71 回情報システム研究会, IS-17-042, pp.17-22
- (3) 門倉 丈, 森下 航平, 五百蔵 重典, 田中 博, 情報伝送機能を具備する高精度屋内測位手法の提案, 2017 信学ソ大, B-18-5, p.266
- (4) 門倉 丈, 森下 航平, 五百蔵 重典, 田中 博, 伝送機能を具備する屋内測位システムにおける音源スピーカの特性への影響, GPS/GNSS シンポジウム 2017, OS3-6, 1page, <最優秀学生研究発表賞>
- (5) T. Kadokura, K. Morishita, S. Ioroi, and H. Tanaka, Proposal and Evaluation of a Data Transmission Method for using Sound in Accurate Indoor Positioning, AMBIENT 2017, Seventh International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies, pp.34-37, Barcelona, Spain, <Best Paper Award>
- (6) 森下 航平, 門倉 丈, 五百蔵 重典, 田中 博, 非可聴音を用いた情報伝送機能を具備する高精度屋内測位手法の提案とその評価, HCG シンポジウム 2017, HCG2017-C-2-1, 7pages
- (7) 門倉 丈, 森下 航平, 五百蔵 重典, 田中 博, 音波を用いた高精度屋内測位システムにおける拡散率と測位精度に関する実験的検討, 第 73 回情報システム研究会, IS-18-014, pp.67-72

なお、本研究に対する一部の実験時の動画は
<http://www.tnklab.ic.kanagawa-it.ac.jp/tanakalab/kenkyu.htm> から視聴可能である。

低温混合培養で形成したリステリア菌と緑膿菌のバイオフィルム形成の抑制

応用バイオ科学部 栄養生命科学科 澤井 淳

1. 研究の目的

本研究では、*Listeria monocytogenes*(リステリア菌)と *Pseudomonas aeruginosa* (緑膿菌) の低温混合培養におけるバイオフィルム(L+P-BF)形成に対する食品添加物の作用について検討する。

2. 研究の必要性及び従来の研究

微生物の多くは、バイオフィルム(BF)の状態では各種表面に存在する。この BF は高いストレス耐性を有し、食品や医療分野をはじめ様々な分野で問題となっている。*L. monocytogenes* および *P. aeruginosa* は共に BF 形成菌であり、特に低温での増殖能を有する。*L. monocytogenes* によるリステリア症は、免疫学的弱者に発症しやすく、その死亡率は 16~38%にも達する。*P. aeruginosa* も自然環境中に広く常在し、薬剤・抗生物質に対する高い耐性を持つ。

自然界での BF は、単一の菌で形成されているものは殆どなく、様々な種の微生物を含む状態で存在している。近年では、リステリア菌と他の細菌で形成された BF の研究も行われているが多くはなく、*L. monocytogenes* と *P. aeruginosa* の混合培養による BF に関する研究としては、一件のみである。低温流通の拡大は、微生物による食中毒の抑制に大いに寄与しているが、低温条件で増殖可能な両菌による BF が引き起こす食中毒および感染症の発生が懸念されている。そこで昨年度は、*L. monocytogenes* と *P. aeruginosa* を低温で混合培養し形成させた BF の特性について調べた。L+P-BF は、抗生物質および次亜塩素酸処理に対して非常に高い抵抗性を示し、特に食品においては BF 形成を抑止する必要性が示唆された。

3. 期待される効果

通常の菌が BF を形成しにくい低温条件で形成される L+P-BF の特性は殆ど分かっていない。ストレス耐性が高い両菌から形成される BF は非常に脅威であり、その特性および BF 形成抑制手法を探索することでこれらの BF に対する制御法の確立に寄与する。

4. 研究の経過及び結果

4.1. 実験方法

L. monocytogenes ATCC 19114, 19115 および *P. aeruginosa* ATCC 7700 を使用した。2×Todd-Hewitt Broth (100 μ L)を 96 穴プレートに分注した。食品添加物としてナットウキナーゼ、ナイシンを使用した。EDTA(食品添加物としても使用されている)は浸透剤として使用した。食品添加物溶液を 50 μ L、単一菌液あるいは混合菌液を 50 μ L を 96 穴マイクロプレートに接種した。初期菌数は、約 10^5 CFU/mL となるようにした。培養(10℃、15℃および 37℃)後、

クリスタルバイオレット染色法で BF 量を、Swab 法で BF 中の菌数を測定した。L+P-BF 中の総菌数を普通寒天培地、*L. monocytogenes* を PALCAM Listeria-Selective agar でそれぞれ算出した。*P. aeruginosa* の菌数は、BF 中の総菌数からリステリア菌数を引いて算出した。

4.2 結果及び考察

ナットウキナーゼは 37℃では 15.6 µg/mL 以上の濃度で、L+P-BF, L-BF, P-BF の形成を抑制することができた。しかしながら 10 および 15℃では、1,000 µg/mL を添加しても L+P-BF, L-BF, P-BF の形成を抑制することができず、ナットウキナーゼによる低温での BF 形成抑制効果は観察されなかった。また、10℃および 15℃でナイシン 0.78 µg/mL 以上の濃度で L-BF の形成の抑制をすることは可能であったが、37℃では 50 µg/mL でも抑制はできなかった。そして、ナイシン 50 µg/mL を添加しても、L+P-BF および P-BF の形成を抑制することができなかった(Data not shown)。

そこで、食品添加物の中で酸化防止剤として使用されている EDTA を浸透剤としてナットウキナーゼ、ナイシンに組み合わせ、BF 形成の抑制効果を調べた。EDTA は、金属キレート性の化合物であり、それ自体が抗菌活性を有する。EDTA 単独で 5 日間 BF 形成を抑制するには、L-BF には 0.4%以上、P-BF および L+B-BF には 2.0%以上の濃度が必要であった。ここでは EDTA 自体で BF 形成に影響のない濃度として 0.1 および 0.2%を用い、ナットウキナーゼあるいはナイシンと組み合わせた。L-BF は EDTA0.1%以上およびナットウキナーゼ 15.6 µg/mL 以上の組み合わせで抑制が可能であった。しかしながら、10℃, 15℃および 37℃において、EDTA を 0.2%にナットウキナーゼ 1,000 µg/mL を添加しても、P-BF および L+P-BF の形成を抑制できなかった (Data not shown)。L+P-BF の低温での形成抑制はナットウキナーゼ+EDTA の組み合わせでは不可能であった。

Table 1 にナイシンと EDTA を組み合わせた場合の結果を示す。L-BF の形成は、10℃, 15℃および 37℃において EDTA0.1%以上およびナイシン 0.78 µg/mL 以上の組み合わせで抑制可能であった。一方、15℃および 37℃では P-BF と L+P-BF 形成は EDTA0.2%およびナイシン 12.5 µg/mL でも抑制できなかった。しかしながら 10℃において、EDTA 0.1% + nisin では P-BF と L+P-BF 形成は抑制できなかったが、EDTA0.2%ではナイシン 6.25 µg/mL でやや抑制が認められ、12.5 µg/mL では対照($OD_{590} = 0.15 \pm 0.2$)と有意な差がないまでに抑制された ($p < 0.05$)。

この条件 (EDTA0.2%でナイシン 6.25 µg/mL 以上) での BF 中の生菌数を Table 2 に示す。EDTA0.1%+ナイシン 6.25 µg/mL のとき、L+P-BF では 5.9~6.1 log₁₀CFU/well の生菌数があり、Table 1 での値のように完璧な BF 形成抑制はできなかった。一方、P-BF 形成はこの条件で抑制された(Table 1)。生菌数のデータを見ても P-BF では *P. aeruginosa* の増殖が抑制しているが、死滅しているわけではないことが分かる。L+P-BF では BF 中の *L. monocytogenes*

TABLE 1. Effects of nisin and EDTA on the amount of biofilms formed in the wells of polystyrene microplates by mono- or co-cultures of *L. monocytogenes* and *P. aeruginosa* after five days in culture (unit: absorbance at 590 nm).

Culture	EDTA (%)	Temperature (°C)	Control*	Nisin concentration (µg/ml)		
				0	6.25	12.5
L.m. ATCC 19114 + P.a. ATCC 7700	0.1	10	0.19 ± 0.01a	0.73 ± 0.08 b	0.73 ± 0.16 b	0.76 ± 0.16 b
		15	0.19 ± 0.01 a	0.56 ± 0.12 b	0.65 ± 0.16 b	0.63 ± 0.24 b
		37	0.17 ± 0.00 a	0.41 ± 0.01 ab	0.38 ± 0.15 ab	0.49 ± 0.24 b
	0.2	10	0.18 ± 0.01 a	0.58 ± 0.11 b	0.36 ± 0.16 ab	0.19 ± 0.03 ac
		15	0.19 ± 0.01a	0.54 ± 0.23 b	0.54 ± 0.04 b	0.40 ± 0.17 ab
		37	0.17 ± 0.01 a	0.36 ± 0.05 a	0.20 ± 0.04 a	0.25 ± 0.04 a
L.m. ATCC 19115 + P.a. ATCC 7700	0.1	10	0.19 ± 0.01 a	0.51 ± 0.09 b	0.61 ± 0.00 b	0.57 ± 0.01 b
		15	0.19 ± 0.02 a	0.63 ± 0.08 b	0.71 ± 0.18 b	0.66 ± 0.20 b
		37	0.17 ± 0.01 a	0.33 ± 0.05 ab	0.48 ± 0.09 b	0.57 ± 0.09 b
	0.2	10	0.18 ± 0.01a	0.56 ± 0.20 b	0.28 ± 0.14 a	0.15 ± 0.01 a
		15	0.19 ± 0.02 a	0.53 ± 0.12 b	0.46 ± 0.28 b	0.41 ± 0.25 ab
		37	0.17 ± 0.01 a	0.38 ± 0.11 a	0.28 ± 0.04 a	0.27 ± 0.04 a
L.m. ATCC 19114	0.1	10	0.19 ± 0.01 ab	0.29 ± 0.09 b	0.16 ± 0.01 a	0.16 ± 0.02 a
		15	0.19 ± 0.01 a	0.29 ± 0.05 a	0.24 ± 0.06 a	0.22 ± 0.05 a
		37	0.17 ± 0.01 a	0.42 ± 0.13 b	0.20 ± 0.11 a	0.18 ± 0.09 a
	0.2	10	0.18 ± 0.03 ab	0.27 ± 0.08 b	0.16 ± 0.02 ab	0.15 ± 0.01 a
		15	0.17 ± 0.03 a	0.24 ± 0.106 a	0.15 ± 0.03 a	0.14 ± 0.02 a
		37	0.19 ± 0.02 a	0.24 ± 0.03 a	0.14 ± 0.01 a	0.13 ± 0.00 a
L.m. ATCC 19115	0.1	10	0.19 ± 0.02 a	0.24 ± 0.08 a	0.16 ± 0.01 a	0.15 ± 0.02 a
		15	0.18 ± 0.01 a	0.30 ± 0.04 b	0.18 ± 0.03 a	0.18 ± 0.05 a
		37	0.17 ± 0.01 a	0.34 ± 0.14 b	0.21 ± 0.13 a	0.19 ± 0.11 a
	0.2	10	0.17 ± 0.02 a	0.25 ± 0.03 a	0.18 ± 0.04 a	0.16 ± 0.01 a
		15	0.18 ± 0.01 a	0.16 ± 0.01 a	0.17 ± 0.01 a	0.16 ± 0.01 a
		37	0.19 ± 0.01 ab	0.25 ± 0.03 b	0.15 ± 0.00 ab	0.13 ± 0.01 a
P.a. ATCC 7700	0.1	10	0.19 ± 0.01 a	0.61 ± 0.11 b	0.61 ± 0.04 b	0.57 ± 0.08 b
		15	0.18 ± 0.01 a	0.56 ± 0.11 b	0.70 ± 0.17 b	0.61 ± 0.08 b
		37	0.19 ± 0.01 a	0.37 ± 0.06 ab	0.46 ± 0.12 ab	0.51 ± 0.15 b
	0.2	10	0.18 ± 0.01 a	0.62 ± 0.22 b	0.18 ± 0.01 a	0.15 ± 0.01 a
		15	0.19 ± 0.01 a	0.64 ± 0.17 b	0.62 ± 0.25 b	0.48 ± 0.29 b
		37	0.17 ± 0.00 a	0.41 ± 0.14 a	0.24 ± 0.07 a	0.35 ± 0.11 a

*The value of absorbance at 590 nm when bacterial suspension was not added.

Different lowercase letters within a column indicate significantly different mean values ($P < 0.05$).

Abbreviations: L.m., *Listeria monocytogenes*. P.a., *Pseudomonas aeruginosa*.

は検出されなかった。またこのときの well を掻き取った swab の浸漬溶液を普通ブイヨン培地で増菌培養しても *L. monocytogenes* は検出されず、EDTA0.2%でナイシン 6.25 µg/mL 以上で L+P-BF 中の *L. monocytogenes* は死滅していると考えられた。この結果は、L+P-BF では *P. aeruginosa* は *L. monocytogenes* と混合培養することで tolerance を高められている可能性を示している。

TABLE 2. Effect of nisin + 0.2% EDTA on total viable counts or viable counts of *L. monocytogenes* in the biofilms formed by mono- or co-cultures of *L. monocytogenes* and *P. aeruginosa* at 10 °C after five days in culture (unit: absorbance at 590 nm).

Culture	Nisin Conc. (μ g/ml)	Total counts (log ₁₀ CFU/well)	<i>Listeria</i> counts (log ₁₀ CFU/well)
L.m. ATCC 19114 + P.a.	0	7.4 ± 0.5 a	5.6 ± 0.4 a
L.m. ATCC 19115 + P.a.		7.6 ± 0.1 ab	5.6 ± 0.3 a
L.m. ATCC 19114		—	5.8 ± 0.5 a
L.m. ATCC 19115		—	5.9 ± 0.2 a
P.a.		7.0 ± 0.9 a	—
L.m. ATCC 19114 + P.a.	6.25	6.1 ± 0.3 a	N.D.
L.m. ATCC 19115 + P.a.		5.9 ± 0.5 ac	N.D.
L.m. ATCC 19114		—	N.D.
L.m. ATCC 19115		—	N.D.
P.a.		3.9 ± 1.1 b	—
L.m. ATCC 19114 + P.a.	12.5	3.2 ± 0.6 b	N.D.
L.m. ATCC 19115 + P.a.		2.5 ± 0.4 b	N.D.
L.m. ATCC 19114		—	N.D.
L.m. ATCC 19115		—	N.D.
P.a.		3.0 ± 0.4 b	—

Different lowercase letters within a column indicate significantly different mean values ($P < 0.05$)

N.D. : below detection limit ($< 2 \log_{10}$ CFU/well)

Abbreviations: L.m., *Listeria monocytogenes*. P.a., *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 7700.

5. 今後の計画

- L+P-BF 形成をより低濃度の nisin と EDTA で抑制するための条件の探索

6. 研究成果の発表

- 1) 菅原美悠、兼村紀子、岡智美、澤井淳：熱量計による微生物の検出における使用培地の検討と黄色ブドウ球菌の選択的検出. 環境管理技術, **35** (2) 88-97 (2017. 5).
- 2) Tomita, K. and Sawai, J.: Preincubation of *Escherichia coli* ATCC 25922 with NaCl increases its attachment to lettuce surfaces compared with other chemicals. *Biocontrol Science*, **22**(3) 137-143 (2017. 9)
- 3) Yamakawa, T., Tomita, K., and Sawai, J.: Characteristics of biofilms formed by co-culture of *Listeria monocytogenes* with *Pseudomonas aeruginosa* at low temperatures and their sensitivity to antibacterial substances. *Biocontrol Science*, (in press, 2018. 9 掲載予定).

大学野球選手の食生活支援とパフォーマンスの向上

栄養生命科学科 原島恵美子

1. 研究の目的

スポーツ選手にとって、適切な栄養素摂取は基礎体力、パフォーマンス向上のために必要不可欠である。また、選手自身がトレーニングや試合に合わせた食事内容の認識や栄養素の役割などを理解することで、主体的な体力作りやコンディションの調整が可能となる。しかし、近年の大学生の乱れた生活習慣や食生活が憂慮される中、体育会クラブに所属する大学生の食生活の乱れも例外ではないことが予想される。本研究では、大学野球選手の栄養・食生活の課題を明らかにするとともに、食生活支援（栄養教育）による体力、パフォーマンスへの影響を検討した。

2. 研究の必要性及び従来の研究

日常の適切な食生活は、健康の維持・増進に寄与する重要な要素の1つであり、食生活の乱れは運動能力に悪影響をもたらし、集中力、学習能力をも低下させる。しかし、体育会に所属する大学生における食事の重要性の理解は十分とは言えず、栄養の知識を習得する機会も少ない。スポーツ選手が競技成績を上げるためには、バランスの良い食事や競技特性に応じた栄養管理が必要であるが、体育会クラブに所属する男子大学生の食事は多くの栄養素において食事摂取基準を満たしていなかったことが報告されている。

野球は練習時間が長く、選手はこれらの練習をこなせるだけの体力を必要とする。体力とパフォーマンスの向上を目指すためには、適切なトレーニングに加え、必要な栄養素の確保と適切な休養が必要である。高校野球部員の95%以上が朝食を「毎日」または「ほぼ毎日」摂取していたのに対し、大学野球部員では、朝食を摂取している選手は3～4割程度しかいなかったという報告からも、望ましい食習慣の形成の必要があるといえる。

筆者はこれまで、男子大学生を対象とした食生活支援として「食事バランスガイド」を活用し栄養教育を実施し、体調の変化などを実感させることが食行動変容に繋がることを確認している。大学野球選手の体力、パフォーマンスの向上を目標とした食生活支援プログラムの開発には、選手の栄養・食生活の課題を明らかにし、行動変容に導くための工夫と検証が必要である。

3. 期待される効果

選手が食の重要性を理解し、各選手が実践可能な栄養教育的サポートを受けることにより、体力とパフォーマンスの向上が期待される。本研究の成果は、体育会に所属する大学生の健全な食習慣の形成を目指した栄養教育プログラムの構築に寄与するものである。

4. 研究の経過および結果

健康な野球部員 20 名を対象に、栄養教育サポートを行った。研究は、神奈川工科大学のヒトを対象とした研究に関わる倫理審査委員会で承認を得て実施した（承認番号 20170403-14）。平成 29 年 4 月～10 月末までの 7 ヶ月、食事のサポートを行うと共に、介入前後の食生活状況、体組成、疲労度等の変化を把握した。栄養教育サポートは、初回に食事バランスに関する集団指導を実施し、その後は栄養支援システム『Calorie Smile』（（株）クエスト・コンピュータ）を用いて毎月の食事調査に基づいた支援を行った。

1) 質問紙調査

食生活上の課題として、多くの選手が野菜、牛乳・乳製品、果物の摂取不足であった。開始時に行った質問紙調査では、10 名が現在の食事を「良い」、10 名が「少し問題あり」と回答したが、介入後には「良い」が 9 名に減少した。また、食事改善の意欲は、13 名が向上、5 名が変化なし、2 名が低下した（表 1）。朝食摂取は、介入前に「ほとんど食べない」と回答した 3 名に改善がみられた。しかし、食事に関する知識や心掛けの項目が向上したものの、介入後に実行期になった選手の、食物摂取頻度に大きな変化は認められなかった。

介入後の栄養サポートに関する評価では、分かり易さ、媒体の利用、サポートの必要性の項目において、選手から高い評価が得られた。

表 1 20 名の食事改善における介入前後の行動変容ステージ

ID	介入前	介入後	ID	介入前	介入後
p401 ¹⁾	関心期	実行期	f303	準備期	実行期
p402	無関心期	無関心期	f304	無関心期	関心期
p403	実行期	無関心期	f305	準備期	実行期
p201	関心期	無関心期	f306	関心期	実行期
p202	関心期	実行期	f307	無関心期	関心期
f401	関心期	実行期	f308	関心期	実行期
f402	無関心期	無関心期	f309	関心期	関心期
f403	実行期	維持期	f201	準備期	実行期
f301	無関心期	関心期	f202	実行期	実行期
f302	準備期	実行期	f203	無関心期	無関心期

¹⁾ ID の p は投手、f は野手

2) 体組成調査

20名の開始時の身体状況は、身長 $174.0 \pm 4.9\text{cm}$ 、体重 $74.9 \pm 7.7\text{kg}$ 、BMI $24.7 \pm 1.7\text{kg/m}^2$ であった（表2）。筋肉量は、4月の開始時（ $51.9 \pm 2.8\text{kg}$ ）から7月のトレーニング期（ $52.0 \pm 3.0\text{kg}$ ）に増加したが、練習日が少なく、身体を動かす機会が減った10月のオフ期には減少傾向（ $51.5 \pm 2.9\text{kg}$ ）にあった。そのため、体脂肪率はリーグ戦が終わったオフ期（ $14.3 \pm 3.1\%$ ）に増加した。トレーニング期に筋肉量の増加がみられたのは10名（ピッチャー2名、野手8名）であり、そのうちのピッチャー2名（防御率）、野手4名（打率）のパフォーマンスが向上した（表3）。

表2 測定月ごとの身体状況の変化

		開始時 4月（n=20）	トレーニング期 7月（n=20）	オフ期 10月（n=20）
身長	(cm)	$174.0 \pm 4.9^{a1)}$	174.0 ± 4.8^a	174.9 ± 4.8^a
体重	(kg)	74.9 ± 7.7^a	75.5 ± 8.3^a	75.8 ± 8.1^a
BMI	(kg/m ²)	24.7 ± 1.7^a	24.9 ± 2.0^a	25.0 ± 1.8^a
体脂肪率	(%)	13.3 ± 2.6^b	14.0 ± 2.9^a	14.3 ± 3.1^a
脂肪量	(kg)	11.2 ± 2.8^a	11.4 ± 3.1^a	11.8 ± 3.3^a
筋肉量	(kg)	51.9 ± 2.8^b	52.0 ± 3.0^a	51.5 ± 2.9^{ab}

¹⁾ アルファベット記号が異なる間で有意差あり（ $p < 0.05$ ）

表3 筋肉量の増加がみられた選手10名のパフォーマンス

ID	指標	春季	秋季
<u>p402</u> ¹⁾	防御率	6.67	1.98
<u>p403</u>	防御率	3.67	2.21
f305	打率	0.42	0.15
f203	打率	0.33	0.31
<u>f308</u>	打率	0.29	0.34
<u>f303</u>	打率	0.28	0.30
f201	打率	0.27	0.00
<u>f403</u>	打率	0.25	0.29
<u>f202</u>	打率	0.23	0.26
f301	打率	0.23	0.22

¹⁾ IDのpは投手、fは野手、アンダーラインはパフォーマンスの向上がみられた選手

3) 握力調査

開始時の握力の平均は 45.4 ± 10.0 kg であり、7 ヶ月間で変化は認められなかった。

4) 疲労状況調査

疲労度は、春季リーグ戦（4～5 月）、秋季リーグ戦（9～10 月）の試合前日と 2 日後に把握した。自覚的疲労度は、試合後に増加し、試合数を重ねるごとに、試合後に「とても疲れた」と感じた者が増加した。パルスアナライザー（TAS9（株）YKC）を用いて測定した心拍変動から算出された自律神経活動指標は、試合前後で有意な差は認められなかった（表 4）。試合 2 日後には、試合による疲労も回復しているものと推察されたが、選手の試合毎の指標の変化から、中には肉体的疲労が一時的に高い者も観察された。

表 4 試合前後の自律神経活動指標¹⁾

		試合前	試合後
HR	(bpm)	71.2 ± 7.7	71.9 ± 7.7
SDNN	(ms)	65.2 ± 19.2	67.4 ± 23.7
PSI	(ms)	4.7 ± 0.5	4.7 ± 0.6
Ln TP	(ms ²)	7.3 ± 0.4	7.3 ± 0.6
LF	(%)	58.9 ± 13.7	58.0 ± 11.1
HF	(%)	41.1 ± 13.7	42.1 ± 11.1
Ln(LF/HF)		1.1 ± 0.1	1.1 ± 0.1

¹⁾ 20 名の平均値

5. 今後の計画

野球は、時期に応じて練習内容やトレーニングの重点が異なることから、選手の食意識にも時期による違いがあると考えられる。それぞれの時期やさまざまなニーズに応じた食生活支援が必要である。今回用いた食事支援システムは、ID およびパスワードにより各選手が携帯電話（スマホ）からログインして食事記録の提出や支援者からのメッセージを受け取る方式であった。そのため、提出が滞ったり、メッセージが開封されなかったりといった課題が表出した。今後は、より確実に有効な支援方法について検討を行う。