



技報



K O M A K U S A ・ 2016.10・

技報「こまくさ」第14号の発刊にあたって

一般財団法人信州大学工学部若里会 理事 水環境・土木工学科 教授 大上 俊之

研究助成
報告

広域分散型CTシステムの構築と 自然災害予知・防止のための監視技術への応用

機械システム工学科 高山 潤也

蓄熱材を利用したサーマルモバイルシステムの構築

物質化学科 酒井 俊郎

| 研 | 究 | 室 | 紹 | 介 |

生産技術研究室(中山研)の紹介

機械システム工学科 准教授 中山 昇

先端磁気デバイス(佐藤・曾根原)研究室

電子情報システム工学科(電気電子工学科) 教授 佐藤 敏郎

電子情報システム工学科(電気電子工学科) 准教授 曾根原 誠

寒川研究室の紹介

水環境・土木工学科(土木工学科) 准教授 寒川 典昭

歴史的建造物の保存・活用(梅干野研究室の紹介)

建築学科 准教授 梅干野 成央

微生物の力を使ってものづくり(天野・水野研究室)

物質化学科(物質工学科) 教授 天野 良彦

物質化学科(物質工学科) 助教 水野 正浩

橋本研究室の紹介

電子情報システム工学科(情報工学科) 准教授 橋本 昌巳

環境光化学研究室

物質化学科(環境機能工学科) 教授 錦織 広昌

目 次

技報「こまくさ」第14号の発刊にあたって

／一般財団法人信州大学工学部若里会 理事

水環境・土木工学科 教授 大上 俊之…………… 1

研究助成報告

広域分散型CTシステムの構築と自然災害予知・防止のための監視技術への応用

／機械システム工学科 高山 潤也…………… 2

蓄熱材を利用したサーマルモバイルシステムの構築

／物質化学科 酒井 俊郎…………… 7

研究室紹介

生産技術研究室（中山研）の紹介

／機械システム工学科 准教授 中山 昇……………11

先端磁気デバイス（佐藤・曾根原）研究室

／電子情報システム工学科（電気電子工学科） 教授 佐藤 敏郎

電子情報システム工学科（電気電子工学科） 准教授 曾根原 誠……………12

寒川研究室の紹介

／水環境・土木工学科（土木工学科） 准教授 寒川 典昭……………15

歴史的建造物の保存・活用（梅干野研究室の紹介）

／建築学科 准教授 梅干野 成央……………16

微生物の力を使ってものづくり（天野・水野研究室）

／物質化学科（物質工学科） 教授 天野 良彦

物質化学科（物質工学科） 助教 水野 正浩……………18

橋本研究室の紹介

／電子情報システム工学科（情報工学科） 准教授 橋本 昌巳……………19

環境光化学研究室

／物質化学科（環境機能工学科） 教授 錦織 広昌……………20

技報「こまくさ」第14号の発刊にあたって

一般財団法人信州大学工学部若里会 理事
水環境・土木工学科 教授 大上 俊之

技術情報誌「こまくさ」第14号をお届けします。「こまくさ」では、工学部に所属する各学科教員・研究室の最新の研究内容を主に紹介するもので、年1回発行しております。会員ならびに各市町村、関係企業に配布し、産学官の共同研究、技術振興に役立てるとともに、県内の高校にも配布して進路指導の一助となることを目的としております。

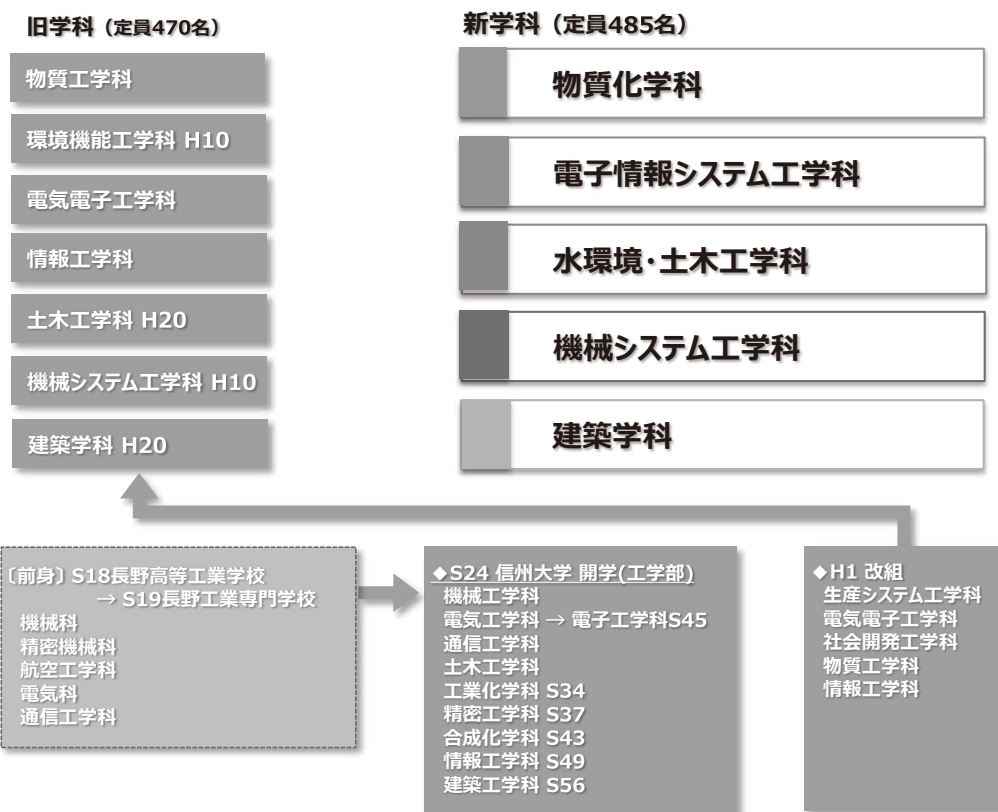
信州大学工学部は、本年4月1日より新しく生まれ変わりました。「エネルギー」、「食」、「水」、「先進材料」、「環境」、「デザイン」の現代社会が抱える課題を解決する教育・研究を実現するために、学科展開を図り、社会に貢献する未来人材の育成を目指すもので、これまでの7学科編成から、「物質化学科」、「電子情報システム工学科」、「水環境・土木工学科」、「機械システム工学科」、「建築学科」への新5学科編成に改組されました。学科の改組と変遷を下図に示します。本号の「研究室紹介」では、新学科名と旧学科名を併記しています。また、本情報誌には、「研究室紹介」とともに若里会からの研究助成採択者の研究報告も掲載しておりますので、ご参考にしていただければ幸いです。

最後に、本誌発刊に当たりご寄稿下さいました皆様、ならびに発行にご尽力いただきました関係各位の皆様に深く感謝いたします。

学科の改組と変遷 History

※2016年4月入学生から新たに5学科の体制になりました。

新5学科の詳細は信州大学工学部ホームページをご覧ください。



信州大学工学部「研究紹介 2017」より抜粋

広域分散型 CT システムの構築と自然災害予知・防止のための監視技術への応用

信州大学 工学部機械システム工学科 計測制御システム工学分野
高山 潤也

Construction of Open-space CT System and its Application to Monitoring Technology for Detection and Prevention of Natural Disasters

Jun-ya TAKAYAMA
Dept. of Mechanical and Systems Engineering, Faculty of Engineering, Shinshu University



1. はじめに

火山噴火や土砂崩れなど、突発的自然災害での犠牲が後を絶たない。これらの監視精度を高めるためには、監視対象の表面的な変化ばかりでなく、例えば火山監視であれば山体内部の圧力・温度等の分布といった内部状態をリアルタイム推定することも重要である。しかしながら、そのような推定を実現するための計測技術開発は、十分に進んでいない。

非接触・非破壊に対象内部の連続的物理量分布推定を実現する代表的方法である CT 再構成技術に目を向けると、生体など領域が狭く、X 線装置により領域をカバーできる場合の有効性は周知のとおりである。一方、海水温分布のような環境モニタリングなど対象領域が広域な場合には、リモートセンサ等で採取した僅かな投影情報から、十分とは言えない分解能で推定しているに過ぎない。物理量分布計測において、このような CT 装置を容易に適用できず、またそれに代えてセンサを大量配置することも得策でない対象、換言すれば「超広域:点的計測」と「狭域:連続量計測」を繋ぐ中域～広域を対象として、その物理量分布を簡便かつ高精度推定するための方法論は議論されてきていなかった。

本研究では、規則的・密な投影データ獲得が前提と考えられてきた CT 再構成技術に関し、送受信機対を自在に配置して獲得する不等間隔・疎な分散 CT 投影データから、どこでも・瞬時に高精度・高分解能な物理量分布を推定可能なシステムを構築し、自然災害監視へと応用することが最終目的となる。筆者らはこれまで、本課題解決のための鍵となる基盤技術に対し精力的に研究推進してきている。そのひとつは、CT 再構成原理に基づく空間内温度・風速分布同時計測に関する技術⁽¹⁾⁽²⁾、もう一方は、無線センサネットワーク(Wireless Sensor Networks: WSN)における端末位置推定に関する技術⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾であり、本研究ではこれら技術を出発点として発展的融合を図るものである。

本報では、当研究での実現を目指すシステムの概

要を説明したのち、その実現に向けた個別要素技術に関する検討状況について報告する。なお、研究途中段階での報告であり、研究紹介的な色合いが強くなることを予めお断りさせていただきたい。

2. 広域分散型 CT システムとその基盤技術

2.1 広域分散型 CT システムの構成

提案する計測システムでは、これまでの研究成果を発展的に融合する。具体的には Fig.1 に例を示すように、疎な投影データから連続的物理量分布が推定できるよう CT 再構成原理の高度化を図ると同時に、測定領域周囲には送受信機対を一時的に配置したオープンスペース型の CT 投影装置を構成する。CT 再構成に必要な送受信器位置は、無線センサネットワークにおける端末位置推定技術を応用し測定すればよい。

本システムでは、空間中に配置する少数の送受信機対による限られた投影データから CT 再構成が実現できてしまう点は最大の強みで、この原理を応用すれば、必要な領域を必要な精度でオンデマンドに

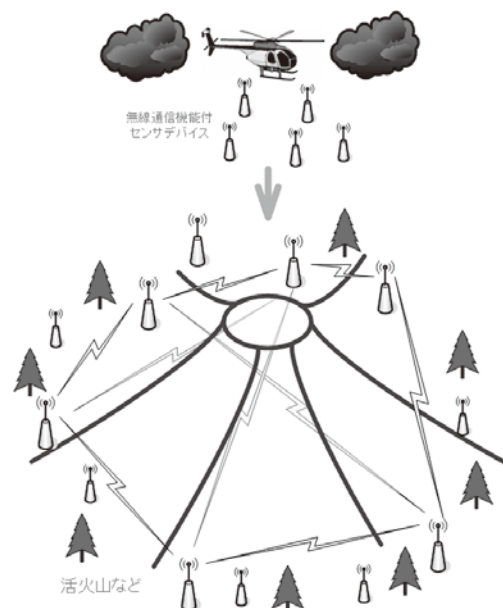


Fig.1 広域分散型 CT システムによる自然災害監視の構想図

計測可能なCTシステムを構成できる。結果として、適用領域の大小を問わず、災害抑止などを目的とした山体内部のリアルタイム推定等へ応用できるほか、前述の海洋モニタリング等へも利用可能である。

2.2 WSNにおける無線端末位置推定技術

近年、研究が盛んな無線センサネットワークを利用した多点同時計測において、計測情報を基に実世界で起きている現象をできるだけ正確に再現するには、各センサ端末の配置を知ること、つまり端末位置⇨端末間距離推定技術が必要不可欠である。本課題に対しては、電波のToF (Time of Flight: 伝播時間) 計測に基づく方法⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾に加え、受信された電波のRSSI(Received Signal Strength Indicator: 受信信号強度指数)計測に基づく方法⁽⁴⁾の、2種類のアプローチにより実現を試みている。

ToF計測に基づく距離推定法では、Fig.2にその原理を模式的に示したとおり、バーニヤ効果に基づいて電波のToF計測分解能を大幅に向上する方法⁽¹⁾を提案し、付加的装置無しに無線端末位置の高精度推定が実現しつつある。一方、RSSI計測に基づく端末位置推定法⁽⁴⁾では、Fig.3にその模式図を示したとおり、電波の距離減衰特性を利用して端末間距離⇨端末位置推定を実現する。

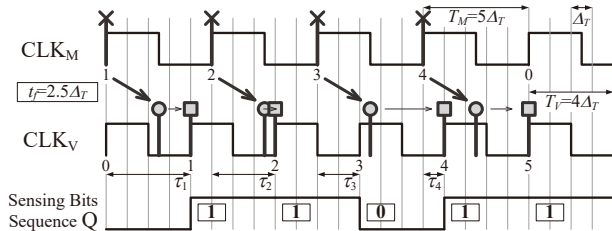


Fig.2 バーニヤ効果に基づく高分解能 ToF 計測法の模式図

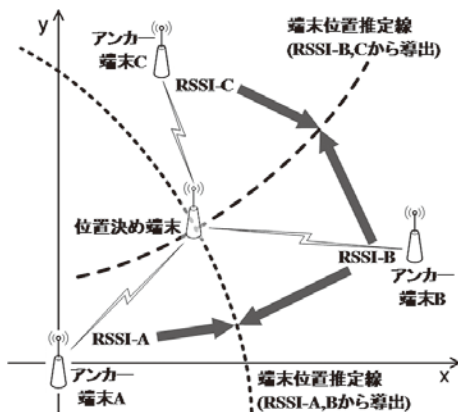


Fig.3 RSSI 計測に基づく端末位置推定法の模式図

2.3 超音波 CT 技術

空気中の音波伝播速度が温度・風速依存性をもつことに着目して、閉じられた測定領域内を超音波が横断する際の伝播時間量に対してCT再構成原理を適用し、伝播速度=温度分布あるいは風速分布の独立推定を実現する⁽⁵⁾⁽⁶⁾ものである。

Fig.4にはその推定原理に関する模式図を示す。投影切断面定理に基づき、投影データ(超音波の伝播時間) $P(r, \theta)$ から温度・風速に依存する音波伝播速度分布 $f(x, y)$ が逆投影される。Fig.5には(a)温度分布ならびに(b)風速分布の測定結果の一例を示した。温度および風速いずれの分布に関しても、定量的に評価可能であることを実験的に確認するに至り、本測定原理を、種々の物理量分布推定へと応用することが十分に可能であることを示した。

3. CT 送受信器位置の推定技術に関する検討

3.1 ToF 計測技術の高度化

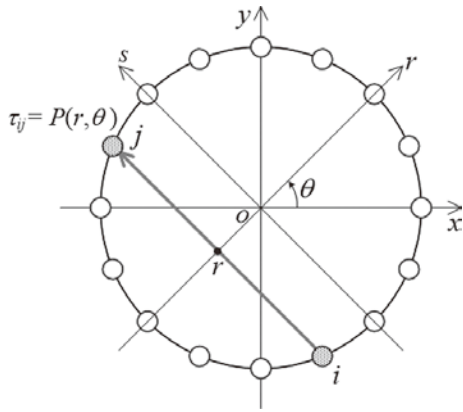
2.2節においては、低クロック速度のマイコンを用いながらも高分解能なToF計測を実現する方法について説明した。しかしながら本方法では、ToF計測を行う端末間で時刻同期取れていなければならないという制約が課されており⁽¹⁾、実用的にみてWSNの枠組み⁽⁷⁾を逸しかねない大きな制約となる可能性があった。そこで、同じ測定原理に着目しながらも、端末間の時刻同期を不要とする新たな方法である「Two Way Ranging バーニヤ法」を検討した。

Fig.6にはその原理的な模式図を示すが、異周期クロック信号を備えた端末 (node-A, node-B) 間で送受信を繰り返した際の、送信→受信までのクロック間隔パターン (Fig.6の例では、上部に赤字で示した4,4,3,4 [period] のパターン) に着目するToF計測法を提案した。具体的には、Fig.7に示したように、ToF変化に応じて各クロック間隔パターン出現頻度が異なってくるを見出し、裏返せば、本情報に着目すればToF推定が可能となる。

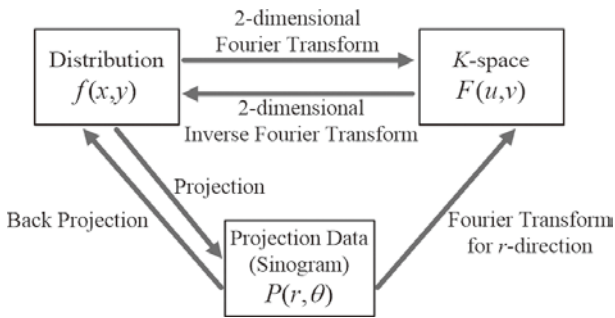
ToF長とパターン出現頻度の関係性について計算機上で評価を進めたところ、理論検討状況に沿った結果を得るに至り、これによって高分解能ToF計測における端末間時刻同期に関する問題はクリアできる見通しとなった。

3.2 RSSIに基づく端末位置推定技術の高精度化

ToF計測に基づく方法とは並行して、RSSI: 電波受信強度に基づく端末位置推定の高精度化についても検討を進めた。本報では2つの検討結果について

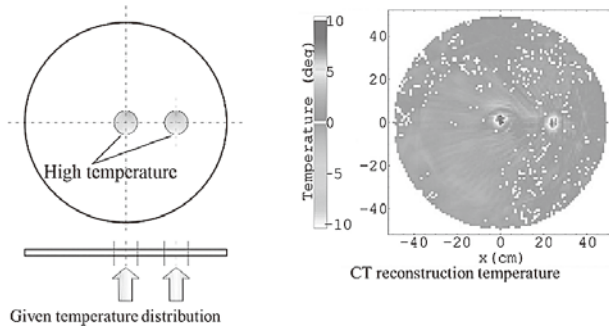


(a) 投影データ (伝播時間データ) 獲得方法

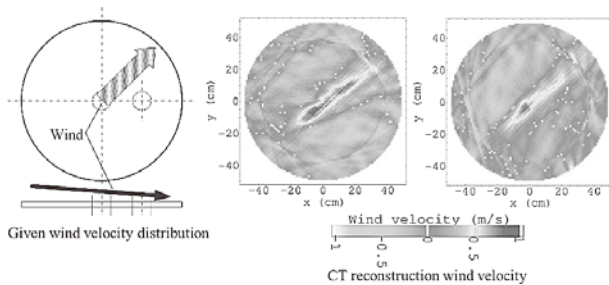


(b) 投影断面定理に基づくデータ間の関係

Fig.4 超音波 CT による温度分布計測推定の考え方



(a) 温度分布測定結果



(b) 風速分布測定結果

Fig.5 超音波 CT 装置による温度ならびに風速分布再構成結果

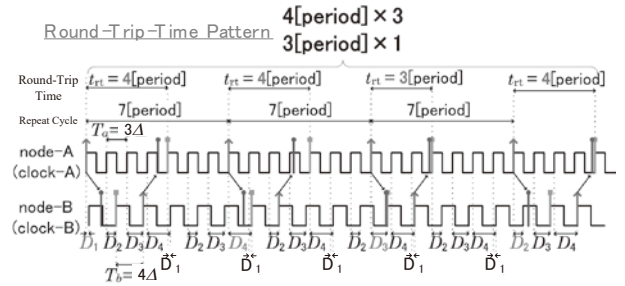


Fig.6 TWR バーニア法による ToF 計測法の模式図

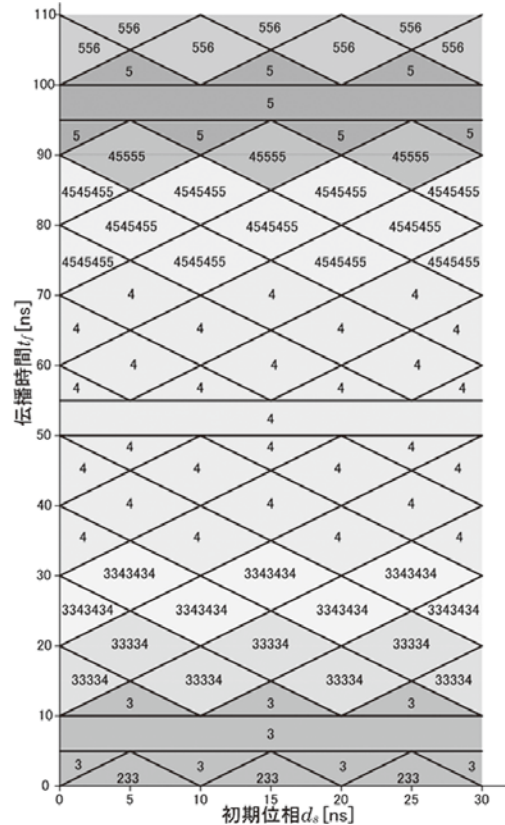


Fig.7 TWR バーニア法による計測パターン変化

て説明させていただく。

[1] RSSI 距離減衰特性への電波反射の影響考慮

筆者らは、RSSI の絶対値ではなく、RSSI の比に着目した端末間距離 (端末位置) 推定法について、これまで検討を重ねてきている⁽⁴⁾。本方法では電波の強弱によらず安定した推定が可能であるが、実験では必ずしもその通りではなかった。

Fig.8 には、実験的に得られた RSSI の距離減衰特性の一例を示すが、単調な距離減衰を取らない。これは地面などに電波が反射し、直達波と反射波の位相差による電波の強めあい弱めあい、すなわちマルチパスフェージングが起り、位置推定精度の低下につながっていた。

本研究では、RSSI 距離減衰特性へ、このマルチ

パスフェージングを組み込み（詳細は煩雑となるので割愛させていただく）、端末位置推定精度の向上を試みた。Fig.9 に位置推定実験結果の一例を示す。RSSI 距離減衰特性へ電波の反射を考慮することによって、位置推定精度が向上していることを確認した。

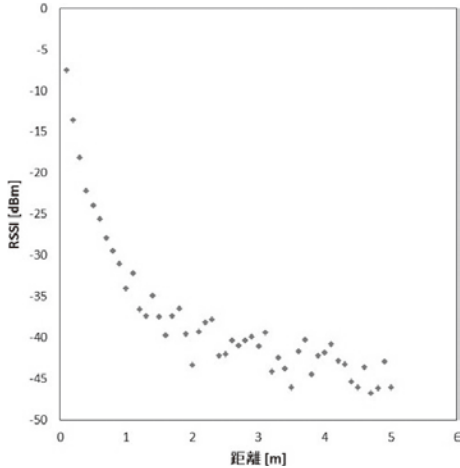


Fig.8 電波強度 (RSSI) の距離減衰特性

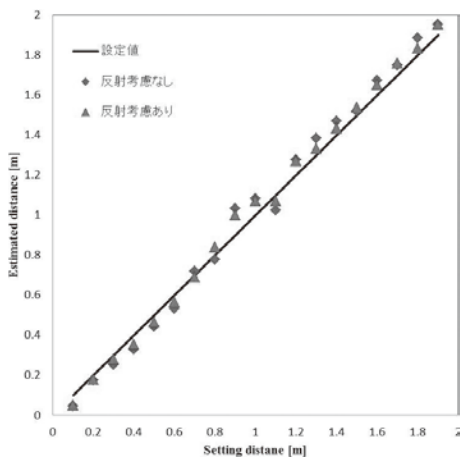


Fig.9 電波の反射を考慮に入れた端末位置推定法による位置推定結果の例

[2] RSSI 外れ値検出

実環境においては、地面からの電波の反射だけではなく障害物や遮蔽物の存在によって電波が弱まり、RSSI 距離減衰特性から逸脱することは十分に考え得る。そこで、そのような影響を受けた、いわば信頼性の低い RSSI 値を自動検出して位置推定プロセスから除外することで、位置推定精度向上を図ることを検討した。

獲得された RSSI 値の伝播距離 (= 端末間距離) を用いて RSSI 値を規格化してみると、そのはずれ度合に応じて各 RSSI 値に信頼性を付与すれば、信頼性の低いものを除外できることが判った。Fig.10 には伝播距離によって規格化した RSSI 値をもとに外れ値を選別した例を示すが、実環境ではこの例の

ように、本来の距離減衰特性に沿わない強度をもった RSSI 値が観測され、提案方法を適用することで、これら RSSI 観測値を除外することが可能である。

統計的手法に基づき外れ値を棄却したのち端末間距離推定を行った際の、距離推定誤差に関するヒストグラムを Fig.11 に示すが、距離推定誤差の標準偏差に着目すると、およそ 20% 程度推定精度が向上していることを確認するに至った。

以上のとおり本報では、主要な検討内容について記載させていただいた。RSSI 値に基づく位置推定法では、デバイスの追加無しで位置推定が可能であり、それが ToF 計測法に比した利点でもある。現在も、位置推定精度向上に向けた取り組みを推進中であり、それらについてはまた別の機会に報告させていただきたい。

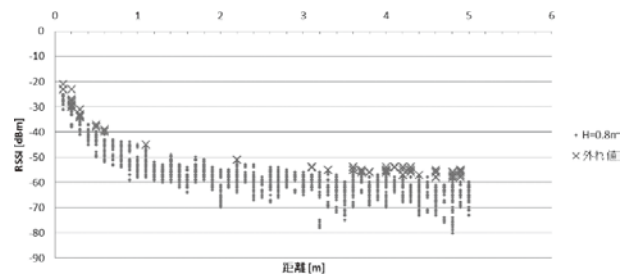


Fig.10 RSSI 値の外れ値選別結果の例

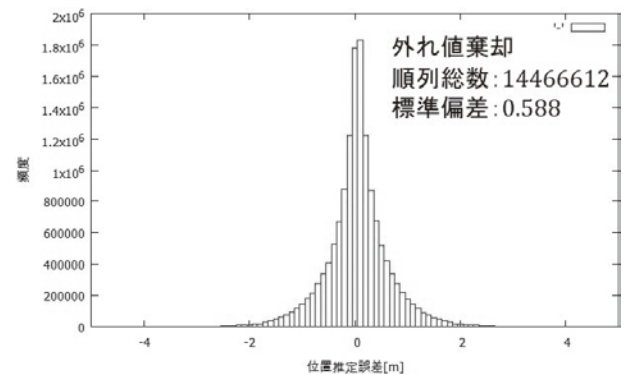


Fig.11 RSSI 外れ値を棄却した際の端末間距離推定誤差のヒストグラム

4. 疎な投影データから CT 再構成を実現するための考え方

4.1 不完全投影データからの CT 連続分布再構成技術の必要性

CT システムによる計測では多数の送受信機を規則的に配置して投影データを収集する必要があるが、これらの条件は、本研究で対象とするオープンスペースにおいては必ずしも現実的ではない。すなわち、障害物や遮蔽物などの影響で、送受信機を配置できない可能性がある。

また、CT による分布再構成手法は数多く提案さ

れているが、不等間隔な投影データへの適用は難しい。そこで文献 (6) などにおいて議論してきた ML-EM 法を基盤とし、不等間隔ないわば粗密のある不完全投影データにも適用可能な、新たな分布再構成手法を構築する必要がある。

4.2 不完全投影データと分布再構成精度の関係性評価

先の超音波 CT による温度分布計測を対象に、送受信器配置を不等間隔にした際の温度分布再構成に及ぼす影響を検証する。具体的には、計算機シミュレーションにより、多パターンの送受信機配置と分布再構成誤差との定性的な関係を評価する。次の段階として、送受信機配置と分布再構成誤差を定量的に評価することを検討し、再構成結果の正確性を決めるための送受信機配置の決定指針として明確にしていきたい。

本件については現在、鋭意検討を進めている最中であるが、空間内温度分布を用いて実験的にその有効性評価も実施するつもりであり、通常の投影データを使用した場合との再構成精度を比較する予定である。

5. 本研究の将来への展望

「超広域：点的計測」と「狭域：連続量計測」を繋ぐ分布計測技術として検討を開始したものの、その実現に際して「CT 再構成技術」と「WSN 端末位置計測技術」の融合を模索する過程で、オンデマンド性を備えた CT という独創的分布計測技術の考案に至った。現在は要素技術の高度化に注力している状況であるが、土砂崩れや噴火予知等の自然災害防止のためには対象内部の物理量（温度や水分量）を計測する必要があり、CT 計測に携わる研究者の方々とも連携を取りつつ、その実現に向けた検討を継続していく。

一方で、自然災害防止のみならず、たとえば埋蔵鉱物の探査（現状では、ダイナマイトを爆破させてその地震波から推定）あるいは海洋調査等へも発展的な応用が可能と考えられ、社会的に見ても大変有用性を備えた技術となりうる。また個々の技術についても、CT 再構成技術の汎用化、あるいは WSN における端末位置推定技術の高度化につながり、それら要素技術についてもその適用範囲を大きく拡大する可能性をもっている。

6. 結言

本報の範囲では要素技術に関する検討状況、すな

わち、CT 送受信器位置の推定技術に関する検討状況と、不完全投影データと分布再構成精度の関係性評価のための方法について記載した。

引き続き今後は、要素技術の高度化を推し進めるほか、広域分散型 CT システムの構築に向けた個々の要素技術の融合＝システム化について検討を進めていく所存である。

謝辞

本研究は、一般財団法人信州大学工学部若里会の平成 27 年度研究助成を受け実施したものであり、多大なる支援に深謝申し上げます。また研究推進に際し、実験検証で協力をいただいた研究室卒業生ならびに現役学生の皆さんに、感謝致します。

参考文献

- (1) 高山、高、大山：一般化バーニア効果と RF 伝播時間計測への応用、計測自動制御学会論文集、Vol.47, No.12, pp.597-605 (2011)
- (2) S. Ko, J. Takayama and S. Ohyama: Proposal of Generalized Vernier Effect and Its Practical Advantage for RF Time-of-Flight Ranging between Sensor Nodes in Wireless Sensor Networks, Sensors & Actuators A, Vol.167, Issue 2, pp.537-547 (2011)
- (3) J. Takayama, H. Thanh, S. Ko and S. Ohyama: Development of Prototype Sensor Nodes with High-accuracy Ranging for Localization on Wireless Sensor Networks, Proc. of IEEE Sensors 2011 Conference, pp.1986-1989 (2011)
- (4) 北野、木村、高山：WSN における電波指向特性を考慮した端末位置推定の高精度化．第 32 回センシングフォーラム資料，pp.108-112 (2015)
- (5) 向山、高山、大山：ML-EM 法の利用に基づく四角型超音波 CT システムによる温度分布計測、計測自動制御学会論文集、Vol.47, No.10, pp.450-458 (2011)
- (6) S. Ohyama, J. Takayama, Y. Watanabe, T. Takahashi and K. Oshima: Temperature distribution and wind vector measurement using ultrasonic CT based on the time of flight detection, Sensors and Actuators A, Vol.151, Issue 2, pp.159-167 (2009)
- (7) 安藤繁：ネットワークセンシングの現状と展望 センサネットワーク化の目的・技術要素・発展方向・研究課題、計測と制御、Vol.43, No.7, pp.580-586 (2004)

蓄熱材を利用した サーマルモバイルシステムの構築

信州大学工学部 物質化学科
酒井 俊郎



1. はじめに

化石燃料の枯渇、福島第一原発の事故などに伴い新規エネルギー源の開発が求められている。また、同時に、太陽エネルギー、工場などからの排熱、ピークオフ電力などの未利用エネルギーを有効活用する技術の開発も求められている。その中で、近年、熱エネルギーを貯蔵して空間・時間的に輸送可能な蓄熱材や蓄熱技術が注目されている¹⁻⁶⁾。そこで、我々は、熱エネルギーを固定、また、自由に持ち運び、輸送、放出できる蓄熱材を利用した“サーマルモバイルシステム” (図1) の構築を目指し研究を進めている。

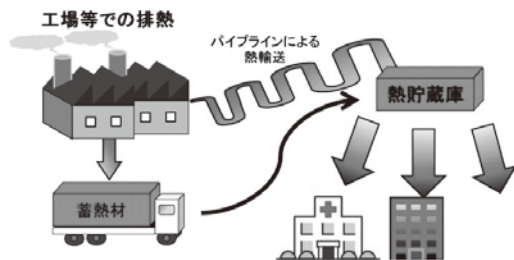


図1 蓄熱材を利用したサーマルモバイルシステムの概念図

サーマルモバイルシステムを構築するための蓄熱材として、固体-液体相転移時に大きな潜熱を有する有機系相転移材料 (Phase Change Material; PCM) (パラフィンなど) に着目した。有機系 PCM 潜熱蓄熱材は、有機系 PCM の固体-液体相転移時に大量の熱 (潜熱) (図2) が貯蔵できるためコンパクトな蓄熱システムになりえることが期待される。

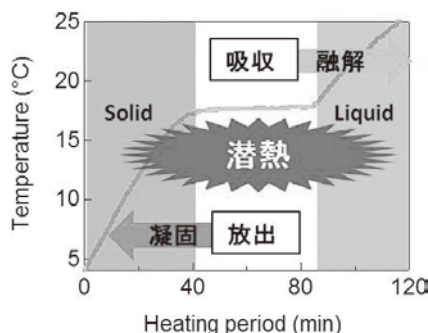


図2 有機系 PCM の固体-液体相転移時の温度変化と潜熱

また、有機系 PCM は 0°C 以上に固体-液体相転移温度 (融点) を有すること、また、その融点をアルカンの混合により調節可能であること (表1) から、人間の生活環境での適用が期待されている。

表1 蓄熱材の熱物性³⁾

蓄熱材	融点 (°C)	顕熱 (kJ kg ⁻¹)		潜熱 (kJ kg ⁻¹)	
		固体	液体		
水	0	2.1	4.2	334	
無機系 PCM 酢酸ナトリウム三水合物	58	-	-	241	
有機系 PCM	テトラデカン (C ₁₄ H ₃₂)	5.5	1.7	2.1	228
	ヘキサデカン C ₁₆ H ₃₄)	18	1.8	2.2	229
	オクタデカン (C ₁₈ H ₃₆)	28	1.8	2.2	243

この有機系 PCM を基材と複合化して使用することができれば、蓄熱性能を有する材料として様々な用途 (例えば、建材など) で活用可能となる。しかし、有機系 PCM は融点以上において固体状態から液体状態に相変化するため、基材から液体状有機系 PCM が漏出する問題が生じる (図3a)。一方で、

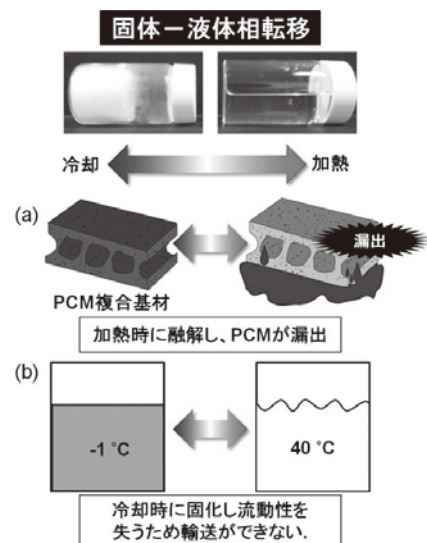


図3 有機系 PCM の固体-液体相転移に伴う状態変化から生じる課題: (a) 有機系 PCM の融点以上における液体状有機系 PCM の基材からの漏出、(b) 有機系 PCM の融点以下における流動性の喪失

有機系 PCM を流通媒体として使用したい場合、有機系 PCM が融点以下において液体状態から固体状態へ相変化するため、流動性を失う問題が生じる(図 3b)。そこで、本研究では、これらの課題を克服するため、(i) 有機系 PCM が融点以上においても漏出(流動)しない蓄熱材、すなわち、非流動型有機系潜熱蓄熱材および(ii) 有機系 PCM が融点以下においても流動性を有する蓄熱材、すなわち、流動型有機系潜熱蓄熱材の開発を試みた⁷⁾。

2. 非流動型有機系潜熱蓄熱材の開発

有機系 PCM が融点以上においても漏出(流動)しない蓄熱材、すなわち、非流動型有機系潜熱蓄熱材として、油ゲル化剤により有機系 PCM をゲル化した有機系 PCM ゲル潜熱蓄熱材の可能性について検討した(図 4)。有機系 PCM ゲル潜熱蓄熱材は、温度が有機系 PCM の融点以上になってもゲル状態を維持し、液体状有機系 PCM の漏出が抑制できるものと期待される(図 4)。

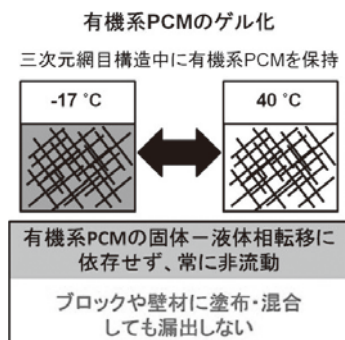


図 4 有機系 PCM のゲル化による非流動型有機系潜熱蓄熱材の開発

油ゲル化剤として N-ラウロイル-L-グルタミン酸ジブチルアミド (LGBA; 味の素社製) を用いて調製された有機系 PCM ゲルを、40°C から -17°C へ冷却、再び 40°C に加熱する操作を繰り返すと、ゲルが崩壊することが明らかとなった(図 5a)。すなわち、有機系 PCM ゲル化から液体状有機系 PCM が漏出することが分かった。

その一方で、油ゲル化剤として N-2-エチルヘキサノイル-L-グルタミン酸ジブチルアミド (EGBA; 味の素社製) を用いて調製された有機系 PCM ゲルは、40°C から -17°C へ冷却、再び 40°C に加熱する操作を繰り返しても、ゲルが崩壊しないことが明らかとなった(図 5b)。このように油ゲル化剤を適切に選定することにより、熱的安定性に優れた有機系 PCM ゲルが調製可能であることが分かった。また、調製された有機系 PCM ゲルは、未処理の有機系

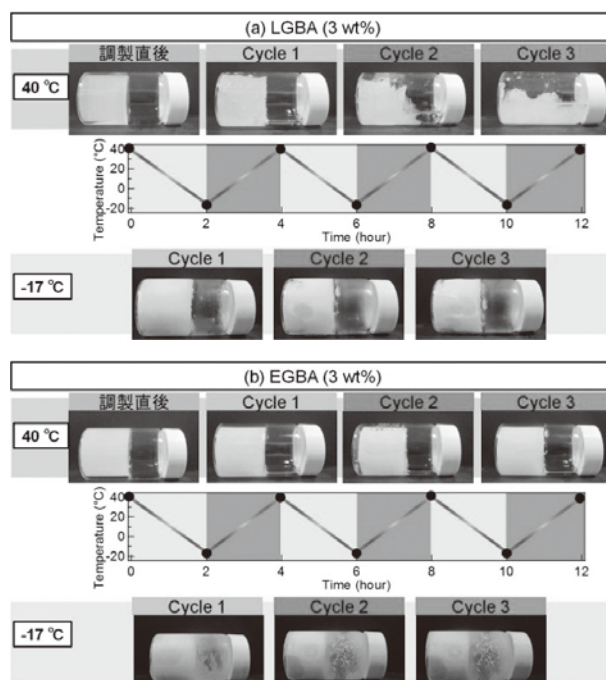


図 5 有機系 PCM ゲルの熱的安定性: (a) LGBA (3 wt%) による有機系 PCM ゲル、(b) EGBA (3 wt%) による有機系 PCM ゲル

PCM と同様の温度で相転移することも明らかとなった(図 6)。これは有機系 PCM をゲル化しても未処理の有機系 PCM と同様の固体-液体相転移をしていることを示している。さらに、ゲル化した有機系 PCM の固体-液体相転移時間は未処理の有機系 PCM に比べて長くなることも分かった(図 6)。これは、有機系 PCM を油ゲル化剤によりゲル化することにより、蓄熱性能が向上する可能性を示唆している。これらのことから、有機系 PCM ゲルは非流動型有機系潜熱蓄熱材として有効であることが示された。

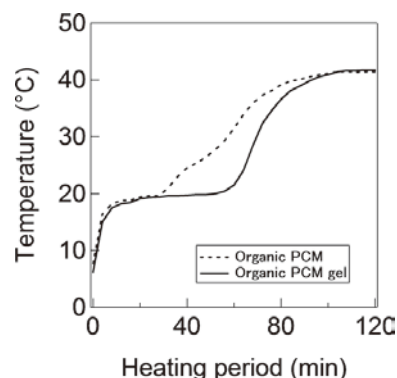


図 6 有機系 PCM を油ゲル化剤によりゲル化した有機系 PCM ゲルの加熱時の温度履歴:(破線)有機系 PCM 単体、(実線)有機系 PCM ゲル

3. 流動型有機系潜熱蓄熱材の開発

次に、有機系 PCM が融点以下においても流動性を有する蓄熱材、すなわち、流動型有機系潜熱蓄熱材として、有機系 PCM を水中に分散させた水中油滴型 (Oil-in-Water: O/W) エマルション蓄熱材の可能性を検討した (図7)。

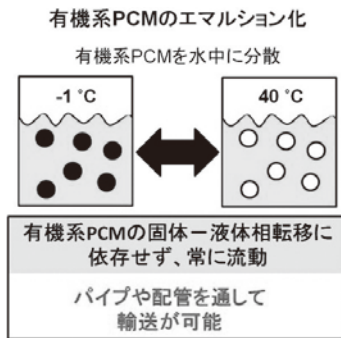


図7 有機系 PCM のエマルション化による流動型有機系潜熱蓄熱材の開発

有機系 PCM を水中に分散させてエマルション化することにより、温度が有機系 PCM の融点以下になっても連続相となる水は凝固しないため、有機系 PCM/水エマルションの流動性が保持されることが期待される。実際に、有機系 PCM/水エマルションを 40°C で調製した後、-1°C まで冷却しても有機系 PCM/水エマルションの流動性は保持されることが確認された。しかし、有機系 PCM/水エマルションは、40°C から -1°C へ冷却、再び 40°C に加熱する操作を繰り返すと、エマルションが崩壊し、有機系 PCM と水が相分離することが分かった。エマルションは相互に溶解しない (難溶の) 液体、つまり、有機系 PCM (油) と水が混合した不均一な分散液であるため、水中に分散している有機系 PCM (油) 滴は衝突し、凝集・合一することにより有機系 PCM (油) 滴が粗大化して、最終的に有機系 PCM (油) と水の二相に分離する。そこで、我々は、熱的安定性に優れた有機系 PCM/水エマルションを作製するため、前述した有機系 PCM ゲルを微細化し、水中に有機系 PCM ゲルが分散した有機系 PCM ゲル/水エマルションの調製を試みた。

有機系 PCM ゲル滴は未処理の有機系 PCM 液滴に比べて弾性的であり、有機系 PCM 滴が衝突 (凝集) しても容易に合一しないことが期待される。実際に、有機系 PCM ゲル/水エマルションを 40°C から -1°C へ冷却、再び 40°C に加熱する操作を繰り返しても、エマルション状態は維持されることが明らかとなった (図8)。また、有機系 PCM ゲルを水中

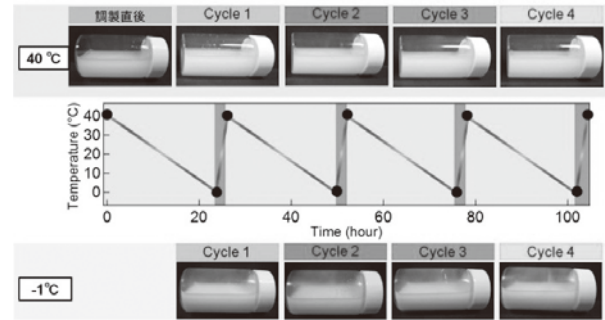


図8 有機系 PCM ゲル/水エマルションの熱的安定性

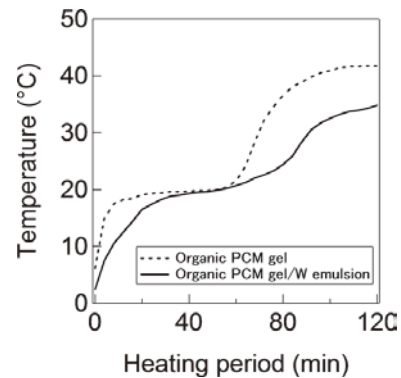


図9 有機系 PCM ゲルを水中に分散し有機系 PCM ゲル/水エマルションの加熱時の温度履歴：(破線) 有機系 PCM ゲル、(実線) 有機系 PCM ゲル/水エマルション

に分散した有機系 PCM ゲル/水エマルション場合でも、未処理の有機系 PCM と同様の温度で固体-液体相転移することも明らかとなった (図9)。

これは、有機系 PCM ゲルが水中に分散して有機系 PCM ゲル滴となっても、未処理の有機系 PCM と同様の固体-液体相転移をしていることを示している。さらに、有機系 PCM ゲル/水エマルションは、有機系 PCM 単体に比べて固体-液体相転移時間が長くなると同時に、水の顕熱の効果が加わり、有機系 PCM ゲルより効果的に温度上昇を抑制できることも明らかとなった (図9)。このことは、有機系 PCM ゲルを水中に分散した有機系 PCM ゲル/水エマルションは優れた熱的安定性と蓄熱性能を有する流動型潜熱蓄熱材になりえることが示された。

4. おわりに

熱エネルギーを貯蔵し、“使用したい時間”に“使用したい場所”で熱エネルギーを使用することができる“蓄熱材”の開発および“サーマルモバイルシステム”の構築は、効率的なエネルギー循環を可能とする。また、快適な社会を持続的かつ安定的に維持するためには、我々の生活温度を適切にコントロールする必要がある。これは、人間ばかりでなく、地球上に存在するすべての動植物の生命を維持する

ために必要不可欠である。例えば、我々の食を支える農業分野においては適切な温度管理が農作物の生産高を大きく左右する。ビニールハウス栽培における冬季の加温などは化石燃料（石油）の燃焼熱（ボイラー）に依存するところが多く、作付量や農作物の価格が原油価格に大きく左右される。そのような中で、“蓄熱材”の活用は有効な温度管理方法の一つである（図10）。

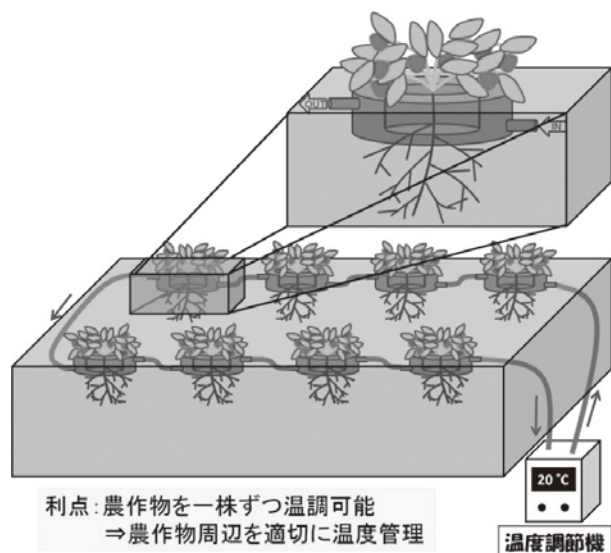


図10 農作物栽培用コンパクト温調システム

本稿において紹介した有機系PCM潜熱蓄熱材は石油由来の原料（パラフィンなど）を使用しているが、燃焼により消費されることはなく、繰り返し使用することが可能である。また、燃焼を伴わないため二酸化炭素（CO₂）も排出しない。未利用熱エネルギーを有効活用することができれば、投入するエネルギーを削減することもできる。

蓄熱材の活用用途は様々であり、環境分野におけるヒートアイランド対策、建築分野における空調用蓄冷装置、建材、床暖房、交通・鉄道分野における融雪・凍結防止剤・結露防止剤、自動車分野における冷却水、空調の循環水、塗料分野における熱吸収塗料、化粧品分野における美容、保温パック、物流分野における野菜・花などの輸送中の温度管理などで活用されることが期待される。今後、蓄熱材を利用した未利用熱エネルギーの活用技術が実用レベルで広く展開されることを期待している。

謝辞

本研究は、一般財団法人 信州大学工学部若里会の平成27年度研究助成を受けて行ったものであり、関係各位に深く感謝いたします。また、本研究の遂行にあたり、油ゲル化剤をご提供いただきました味の素株式会社様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) H. G. Lorsch, K. W. Kauffman, J. C. Denton, Thermal energy storage for solar heating and off peak airconditioning, *Energy Conversion*, 15 (1975) 1-7.
- 2) H. Inaba, New challenge in advanced thermal energy transportation using functionally thermal fluids, *International Journal of Thermal Sciences*, 39 (2000) 991-1003.
- 3) S. D. Sharma, K. Sagara, Latent heat storage materials and systems: A review, *International Journal of Green Energy*, 2 (2005) 1-56.
- 4) S. Jegadheeswaran, S. D. Pohekar, Performance enhancement in latent heat thermal storage system: A review, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 13 (2009) 2225-2244.
- 5) S. Jegadheeswaran, S. D. Pohekar, T. Kousksou, Exergy based performance evaluation of latent heat thermal storage system: A review, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010) 2580-2595.
- 6) M. K. Rathod, J. Banerjee, Thermal stability of phase change materials used in latent heat energy storage systems: A review, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 18 (2013) 246-258.
- 7) 酒井俊郎、鈴木慧、飯嶋浩祐、有機系相転移材料ゲルおよび有機系相転移材料ゲル/水エマルションの蓄熱材としての可能性、*J. Jpn Soc. Colour Mater.*, in press (2016) .

生産技術研究室 (中山研) の紹介

機械システム工学科 准教授 中山 昇



1. はじめに

生産技術研究室は2007年4月からスタートして今年で10年目の研究室です。2016年4月現在の構成は、博士課程4名、修士課程4名、大学生4名、B4:6名で、そのうち、社会人大学院生は5名です。

本研究室では、主に金型を用いることでニアネットシェイプまたはネットシェイプを製造可能であり、粉末の調合により材料調質（複合化）が容易な粉末冶金を研究しています。しかし、粉末冶金法は、粉末間の気孔の存在または再結晶温度以上まで加熱（焼結）することによる結晶粒の粗大化による強度低下、または温度上昇と冷却時間の時間ロス等の不利な面があります。

これらの欠点を克服するために、粉末冶金法を利用した新しい成形法の開発および高強度・機能性材料開発を行っています。材料の強度を向上させるためにはHall-Petchの経験則で知られるように、結晶粒径を微細化させることが有効です。そこで、金属材料の組織の微細化は以前から検討されており、種々の強ひずみ加工（ECAP法、ARB法）を用いた研究が行われていますが、複数回の工程であるので成形が複雑であるという欠点があります。さらに、これまで行われてきた強ひずみ加工の対象材料はバルク材ですが、球形または非球形の金属粉末を利用し、常温下（室温）で固化成形することが出来れば、粉末同士の接触点において応力が集中し、微細な結晶粒を創成できると考えられます。また、室温で成形が可能のため、高温になると変質するような材料も金属中に分散することが出来るため、新しい複合材料を容易に作る事ができると考えられます。

本研究室では、様々な微細結晶化された複合材料を容易に製造することが可能となる新しい粉末冶金法「常温圧縮せん断法」を考案しました。

2. 常温圧縮せん断法とは

常温圧縮せん断法とは、金属プレートの上に金属

粉末を充填し、常温及び大気雰囲気中で圧縮荷重及びせん断荷重を同時に負荷させることで金属粉末同士を固化成形する方法です（図1）。成形時には積極的に加熱は行っていませんし、成形後の焼結は行っていません。

例えば純アルミニウム粉末を常温圧縮せん断法で固化成形するとナノオーダーの結晶粒を有した純アルミニウム薄板が作製できました（図2）。また、純アルミニウムの2倍の強度であるA5052-H34に相当するビッカース硬さ、引張強さを得ることができました。

したがって、常温圧縮せん断法を用いることでナノサイズの結晶粒微を得ることができ、同元素の強度より2倍以上の強度を引き出すことに成功しました。

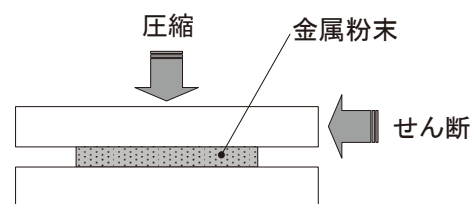


図1. 常温圧縮せん断法の模式図

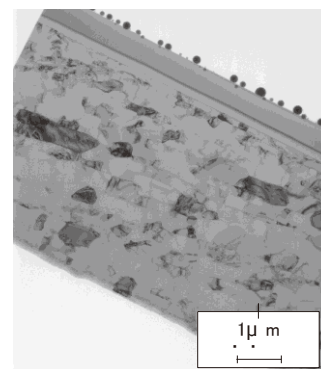


図2. 透過型電子顕微鏡により観察したアルミニウムの結晶粒

3. まとめ

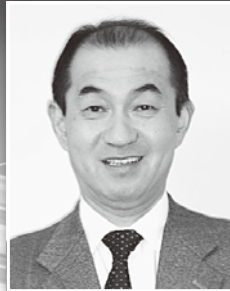
粉末冶金法をもとに新しい成形方法と新しい複合材料の研究を進めてきています。たとえば、チタン粉末にカーボンナノチューブを分散させた燃料電池

用セバレータ材料や金型用金属粉末中に二硫化モリブデンを分散させた底摩擦材料の開発も行ってきました。最近では、アルミニウム粉末と水を混合することで多孔質材料を製造する研究も行っています。

先端磁気デバイス (佐藤・曾根原) 研究室

電子情報システム工学科 (電気電子工学科) 教授 佐藤 敏郎

電子情報システム工学科 (電気電子工学科) 准教授 曾根原 誠



1. 本研究室の構成と教育・研究方針

本研究室は、佐藤敏郎教授、曾根原誠准教授、戸松政友シニア技術職員、鶴田守技術職員、学生28名（博士生1名、修士生11名、学部生10名、社会人学生6名）で構成されている。本研究室は、前本学学長の山沢清人名誉教授によって1979年4月に創設され、間もなく40年を迎えようとしている。山沢先生ならびに本研究室の教員であった前本学理事・副学長の三浦義正名誉教授は現在も顧問として参画して頂いている。佐藤教授は1996年9月に(株)東芝技術主査を経て助教授として着任し、2005年4月に教授に昇任、学部長補佐、学長補佐、副工学科長などを歴任し、主に修士・博士5年一貫のサステイナブルソサイエティグローバル人材養成プログラムや社会人専門職コースの責任者として、工学部・大学全体の運営にも携わっている。曾根原准教授は、本研究室のOBで2007年3月に博士(工学)を取得以来、本学SVBLのPD研究員を経て、2008年4月に助教として着任し、2013年4月に准教授に昇任し現在に至る。佐藤、曾根原両名とも信州大学スピンドバイステクノロジーセンター、先鋭領域融合研究群環境・エネルギー材料科学研究所ならびに航空宇宙システム研究センター基盤技術部門を兼任している。

本研究室は学生の自主性を重んじており、自発的に考え行動できるような人材を育成することを第一にしている。それは研究だけでなく日常の研究室生活や、光芒祭での模擬店、スキー合宿(図1)など様々な行事においても同様であり、その中で組織運営力や調整力などを身に付けることを期待している。またほとんどの研究テーマは、修士生と学部生からな

るグループ制で研究を進めていて、日頃から修士生は指導力も磨いてもらっている。研究進捗報告会などのゼミも活発でプレゼン力も養っている。最近では博士課程まで志す学生や海外の大学に短期留学する学生も増えているなど個性豊かで活発な学生が多いことも特長である。

本研究室は、3つの磁気技術で地球にもヒトにも優しいものづくりをスローガンに掲げて研究を進めている。3つの磁気技術とは、Power Magnetics、Microwave Magnetics、Sensor Magneticsを指し、デバイス(電子部品)レベルのグリーン(省エネ・高効率・低損失)化と暮らしの安全を真剣に考え、先端システムを支える磁気デバイス・センサ/材料を企業・学内外の学術機関と連携し研究・開発をしている。多くのデバイスは薄く小型であるため、工学部内の長野市ものづくり支援センター(UFO Nagano)のクリーンルーム内で試作されている(図2)。以下に6テーマの研究内容の概略を記述する。



図1 スキー合宿の様子



図2 実験風景

2. Power Magnetics

2.1. LSI 用内蔵型高効率電源

CPU や SSD に代表されるように最近の LSI は約 1V の低電圧駆動になっている。これらは 1.8 V や 3.3 V などの駆動電圧より高い電源ラインに降圧 DC-DC コンバータ (以下、単に電源と記述する)

を介して電力供給されているのが一般的である。一方で、特に CPU はものに依っては消費電力が 100 W を超えるものがあるため、電源と LSI 間の配線には大電流が流れることになり、配線におけるジュール熱（損失）が問題になる。この問題を解決するために LSI ごとその近傍に電源を配置し、配線ロスを極力無くす PoL (Point of Load) コンバータが主流である。本研究室は更に配線ロスの低減と同時に LSI の付加価値も高めることを目的に電源を LSI パッケージに内蔵する研究を 10 年以上前から佐藤教授主導の下、進めている。最近では、図 3 に示すような LSI 有機インターポーザに 68 μm 厚 Zn-Fe フェライト磁心平面スパイラルパワーインダクタを埋め込み、その上に 180 nm CMOS スイッチをフリップチップ実装した 2 V 入力 - 1 V \cdot 1 A 出力の DC-DC コンバータを東京工業大学、新光電気工業、東京大学と共同で試作・評価した。出力電流 1 A で効率は約 68% で、10% 以上も改善を図る必要はあるものの、その新規性が評価され、その内容をまとめた論文が Journal of the Magnetics Society of Japan, Vol.29, N.2 (2015) に掲載されるのみならず、発刊学会の（公社）日本磁気学会より論文賞（2015 年 9 月）を頂いた。現在は、同学科の宮地研究室と旧（株）半導体理工学研究センター（STARC）（代表者宮地准教授）から助成を頂き、共同開発をしている。

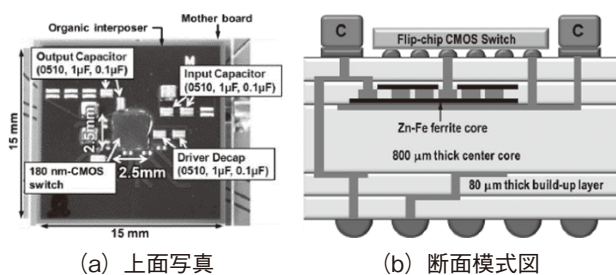


図 3 LSI 有機インターポーザ内蔵 Zn-Fe フェライト磁心パワーインダクタを用いた DC-DC コンバータ

2.2. SiC / GaN 利用小型高効率電源

SiC や GaN といった次世代パワー半導体が盛んに開発されている。これらを用いる利点の一つとして、スイッチング電源のスイッチング素子として用いた場合にスイッチング周波数 f_s を数 MHz 以上に高くできることが挙げられる。電源には他にコンデンサ C やインダクタや変圧器といった L 素子も必要になるが、 f_s に反比例して C や L 素子を小さくできるため、小型・軽量の電源が実現でき、特に電気自動車などの燃費向上になるためその開発が切望されている。しかしながら、現在数百 kHz 帯 DC-DC コンバータ用インダクタに多用されている

ダストコアや Mn-Zn フェライトでは数 MHz 帯で利用する場合に鉄損が著しく高くなる可能性があり、L 素子がボトルネックになっているのが実情である。そこで本研究室では、数 MHz 以上でも低鉄損な鉄心の開発を約 8 年前（基礎検討期間を含む）から佐藤教授主導の下、進めている。具体的には、最近では表面に数十 nm の熱酸化被膜を付けた ϕ 約 1 μm の Fe 系磁性微粒子をエポキシ樹脂中に分散させた複合材料を鉄心に利用している。この複合材料を用いて外径 30 mm、内径 10 mm、高さ 10 mm のリングコアを作製し、 ϕ 1 mm の導線を 14 turn 巻いたトロイダルインダクタを作製した。そのインダクタと GaN-HEMT (TI; LMG5200) を用いて、USB バスパワー電源をモチーフとした 18 V 入力 - 5 V \cdot 4 A 出力の降圧 DC-DC コンバータを試作・評価した。最大効率は 94.7% @ 2 A であった。現在は、本研究およびその他の電源を含めて、同学科の水野・ト研究室、繊維学部村上市研究室、大阪大学の舟木・井淵研究室、ミドリ電子（株）（千曲市）、長野県工業技術総合センターらと共同開発していて、NEDO プロジェクト（次世代パワーエレクトロニクス応用システム開発の先導研究）、JST スーパークラスタープログラム（京都コアクラスターのサテライトクラスター）、JSPS 科研費などよりご支援を頂いている。

3. Microwave Magnetics

3.1. 無線携帯機器用低損失 RF インダクタ

次世代高速携帯通信規格では携帯端末（スマートフォンやウェアラブルデバイス）や各種家電などの全デジタル機器が無線でリンクされる見込みである。課題として、通信の安定性の向上と携帯端末のバッテリー駆動の長時間化がある。両者を解決する方法として、端末のアンテナ回路における CMOS-LNA（相補型金属酸化膜半導体で構成された低雑音増幅器）の低損失・高効率化が挙げられ、これが実現されれば微弱な電波でも受信できることから通信の安定性の向上が期待でき、またアンテナ回路の消費電力を低減できることからバッテリー駆動の長時間化だけでなく省エネ化も期待できる。アンテナ回路には MOS-FET の他に多数の空心スパイラルインダクタやコモンモードフィルタ（次節に記述）が使用されている。ところが携帯端末の通信周波数帯である UHF 帯（0.3 ~ 3 [GHz]）など非常に高い周波数でインダクタを使用すると、巻線に隣接する巻線から生じる交番磁束が鎖交し誘導電流が流れてしまう近接効果と呼ばれる銅損が顕著に現れる。そ

ここで本研究室は、巻線間に前節で記述した複合材料を充填し、交番磁束を隣接巻線から巻線間の複合材料を通過し、近接効果を抑制する手法を2013年頃から提案し、曾根原准教授主導の下、研究を進めている。最近では、同サイズの空心インダクタに比べて1GHzにおいて約1.3倍高い Q 値が得られた。本テーマは、2014年に工学部同窓会が出資する若里会より研究助成を頂き、「技報こまくさNo.13」(2015)の研究助成報告に執筆させて頂いた。現在は、JSPS 科研費を頂いている。

3.2. 薄膜コモンモードフィルタ

前節に記載したコモンモードフィルタには、チップ型コモンモードチョークコイル（例えば高さ0.3 mm、体積約0.1 mm³）が用いられているが、高集積回路には不向きである。本研究室では、薄膜デバイス技術を用いて準平面構造にできるMIMキャパシタと結合インダクタを利用した薄膜コモンモードフィルタを5年前から提案し、曾根原准教授主導の下、進めている。高さ約0.01 mm、体積0.01 mm³と上記市販品よりも低背小型され、コモンモードノイズを約3 dB向上でき、フィルタとしての性能も良いものが開発できた。本研究は長野高専の中山研究室と共同開発していて、総務省SCOPE電波有効利用促進型（若手ワイヤレス研究者等育成型）よりご支援を頂いている。

4. Sensor Magnetics

4.1. 大電流測定用光プローブ電流センサ

電気自動車や燃料電池自動車などでは、バッテリーや交流モータに流れる電流を測定するためホール素子を用いた電流センサが利用されているが、車内および外来の電磁ノイズの影響を受け、精度良く電流を観測できていない。また、車内では氷点下から200℃近くまで温度変化が生じるが、ホール素子は温度特性が悪いことも問題になっている。加えて、感度を向上させるため磁気ヨークを使用しなければならず、小型・軽量化の障害になっている。そこで本研究室では、それらを解決した光をプローブとし、磁性材料の磁気Kerr効果を利用する電流センサを

10年以上前に考案し、佐藤教授主導の下、開発を進めている。電気自動車のPCU（Power Control Unit）を模擬した実験で、スイッチング素子であるIGBTのエミッタ電流を測定できるまで開発が進んでいる。現在は、同学科の宮地研究室とシチズンファインデバイス（株）（御代田町）らと共同開発していて、JSTスーパークラスタープログラム（京都コアクラスターのサテライトクラスター）よりご支援を頂いている。

4.2. 電磁気式非接触塩分濃度計

海水淡水化プラント用の水質検査は様々あるが処理された水のイオン濃度（主はNa⁺、Cl⁻で、塩分濃度）の測定が最重要である。現状では、液中にセンサ部を浸して液体の導電率を測定しているが、電極部の腐食で測定精度が悪くなり、また衛生面が問題である。本研究室では、電磁気的手法を用いた非接触型塩分濃度計を2013年頃から提案し、曾根原准教授主導の下、研究を進めている。本センサは、励磁用コイル内に8字型検出コイルを置き、励磁コイルに流れる高周波交流の電圧波形と8字型検出コイルで生じる誘導起電力の電圧波形を位相検波回路に接続された構成で、位相差を測定するものである。淡水目安の塩分濃度約0.05%と、塩分濃度0.1%で位相差が0.2°、センサ出力で2 mVの差が得られた。本研究は、COI STREAM（信州大学アクア・イノベーション）のFSよりご支援を頂いている。

5. これからの先磁研

前章までに挙げた研究テーマを引き続き継続し、更なる改良や向上を目指すのみならず、佐藤・曾根原両教員が航空宇宙システム研究センター基盤技術部門を兼任し、本研究室学部生2名が航空機システム共同研究講座を志すこともあり、航空機や人工衛星に関する新しい研究を始めていく予定である。今後も純粋な学問的追究は勿論のこと社会に役立ち使ってもらえる研究を「先端磁気デバイス」を通じて教職員と学生が一丸となって取り組んでいく。

（文責 曾根原誠）

寒川研究室の紹介

水環境・土木工学科（土木工学科） 准教授 寒川 典昭



平成3年度から、小生が助教授に昇進して寒川研究が発足致しました。研究室を持つ前の平成2年1月から11月に掛けて米国アリゾナ州ツーソンにあるアリゾナ大学水文・水資源学科に文部省在外研究員として留学生生活を送りました。南国の様相を呈するツーソンは小生にとって大変魅力的な町でした。ツーソンに到着したのは1月でしたが、大学の各地に御花畑があり、種々の色の花が咲き誇っていました。そこでの指導教授は実力者であったため、手厚い優遇を受け、留学生に取っては珍しく一人で一部屋を貸与されました。研究時間はたっぷりあり、指導教授は自由に研究させて下さいました。その様な状況下で思いついたのは、水文量の非定常頻度分析です。その時はまだこのテーマがその後の小生の研究室の中心課題となるとは思って居ませんでした。

帰国後、この課題につきまして文献検索を致しました。その結果、小生の知る限り、このような論文は日本国内はもちろんの事、世界的にもありませんでした。これはしめたとはいえず、平成3年度からこの研究に取り掛かりました。以来、現在に至るまで、水文量の非定常頻度分析は小生の研究室の最も主要な研究課題になって居ります。

水文量の非定常頻度分析とは、治水・利水計画を実施するときの確率降水量が時間的に変化するという事です。具体的には、治水計画を行う時の年最大1・2・3日降水量の超過確率降水量、及び利水計画を行う時の月・季節・年降水量の非超過確率降水量が時間依存すると言う事です。

気候変動により、例えば、最近時間100mmをこえる降水量が各地で観測されたり、あるいは四国の早明浦ダムでは毎年の様に取水制限がなされる等、水文学時系列が定常を示すことは容認できず、非定常頻度分析の導入が待たれるところであります。

非定常頻度分析を具体的に述べると次の様になります。治水計画では、例えば年最大日降水量の100

年超過確率降水量が増加傾向を示し、今から50年後の値が今から50前の値より大幅に増加し、より大きな貯水施設が必要となります。図1は年最大日降水量の100年超過確率降水量の例として新潟の場合を示したものであります。利水計画では、例えば年降水量の10年非超過確率降水量が今から50年後の値が今から50前の値より大幅に減少し、やはりより大きな貯水施設が必要となります。図2は年降水量の10年非超過確率降水量の例として新潟の場合を示したものであります。

小生の研究室では、1992年からこの様な立場の非定常頻度分析の論文を矢継ぎ早に提出し、治水計画、利水計画共に非定常頻度分析を推奨しています。そして今、治水計画・利水計画に1日も早い非定常頻度分析の導入が切に望まれるところであります。

研究室の状況について報告しますと以下の様になります。当研究室の4年生の数は今まで多くて6人、少なくても2人で有り、年により変動します。現在は3人です。その内何人かは修士課程に進学しています。修士論文・卒業論文の課題は主として降水量の非定常頻度分析が中心であります。

ゼミは次の様であります。週1回の合同ゼミは非定常頻度分析の基礎を勉強します。週1回の個人ゼミは卒業論文・修士論文の進捗状況について学生が報告し、理解出来ない箇所の指導、来週まで研究してくる事の課題の提供をします。月1回の合同ゼミは修士課程の学生、卒業研究の学生が月ごとに順番に修士論文、卒業論文のその時まで実施した内容を報告し、その内容について研究室全員の学生で議論します。ゼミは修士論文、卒業論文を仕上げるのに重要な勉強の機会です。

最後になりましたが、学生はできる限り研究室に在室している事を要求します。研究室の理念は機会均等・肯定的な行動であります。

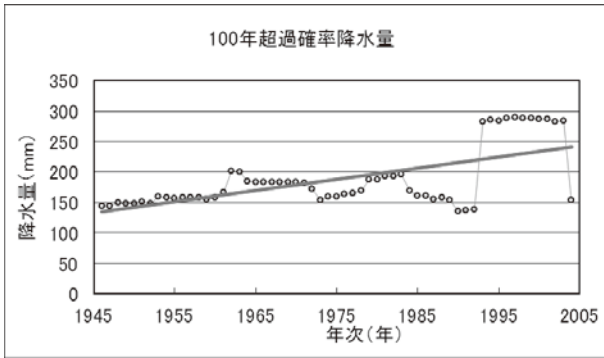


図1 年最大日降水量の100年超過確率降水量 増加傾向(新潟)

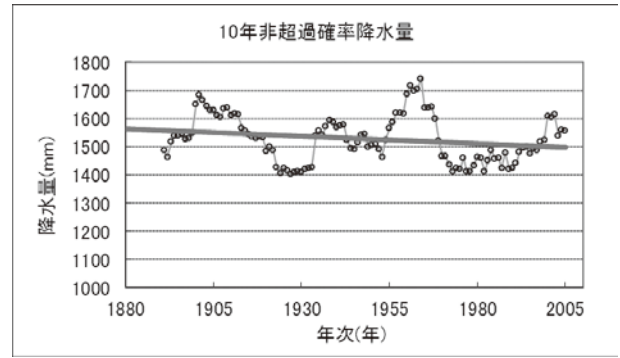


図2 年降水量の10年非超過確率降水量 減少傾向(新潟)

歴史的建造物の保存・活用 (梅干野研究室の紹介)

建築学科 准教授 梅干野 成央



研究のきっかけ

梅干野研究室は、2015年に発足しました。現在、学部生5人と大学院生5人が所属しています。主には、建築の歴史に関する研究(建築史学)を進めています。人の歴史とともに建物の歴史もあるわけですが、これを解き明かしつつ、次の時代の建築について考えていく学問が建築史学です。

私自身の研究活動には、この大学に通い、豊かな自然や文化にふれたことの経験が大きく影響しています。とくに、大学院の時代に、信州のあるフィールドにおいて、多くの歴史的建造物を調査する機会に恵まれたことが、研究活動の出発点となりました。こうした経験を通じ、地域のなかで歴史的建造物がおかれている状況を目の当たりにし、建築史学の研究とそれにもとづく歴史的建造物の保存・活用の必要性を強く感じました。

研究の紹介(1): 住まいの伝統的知識に関する研究

住まいの伝統的知識を解き明かす研究を進めています。その成果は、これからの住まいづくりのありかたを考えるうえでの重要な基盤となります。住まいの伝統的知識は、主に、農山村の農家や都市の町家がどのようにたてられ、これまでどのように変化してきたのかを読み解くことによって得られます(写真1)。この作業の前段には、フィールド調査を

行います。フィールド調査では、建物の間取りや造り、増改築の痕跡等を野帳に記録していきます(写真2)。それを大学に持ち帰り、CADソフト等を用いて整理します。場合によっては、模型等も作成し、理解を深めます(写真3)。こうして得られたフィールド調査の記録が、研究の資料になります。そして、研究がまとまった後には、報告会を行い、成果を地域に還元します(写真4)。

住まいの伝統的知識に関する研究は、住まいという建築の枠をこえて、広く周辺環境と結びつきます。たとえば、農家や町家をたてる時、どのようにして材料を調達したのでしょうか。そこには、周囲の自然をふまえた合理的な地産地消の仕組みがあった



写真1 フィールド調査の様子(塩の道ちょうじや:大田市)

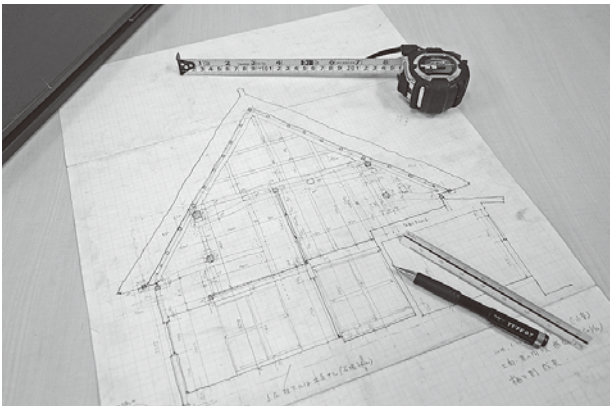


写真2 フィールド調査の野帳



写真3 農家の架構模型



写真4 研究成果の報告会（塩の道ちょうじや：大町市）

はずです。自然との調和や共生の仕組みを模索していく際には、盲目的に先端を目指すのではなく、まずは私たちが歩んできた軌跡をふりかえることが大切だと考えています。

研究の紹介（2）：山岳建築に関する研究

先鋭領域融合研究群「山岳科学研究所」の教員を併任しています。この研究所の目標には、山岳地域における総合的な学問である山岳科学の確立が掲げられていますが、建築史学の立場からこれに貢献したいと考えています。信州には、圧倒的な山岳地があります。山岳地は古くから私たちの生活と結びついていました。ここでは、厳しい自然と向き合うなかで、どのような建築がつくられてきたのでしょうか。山岳地のなかで育まれてきた建築の文化を山岳建築とよび、その歴史を解き明かす研究、すなわち、山岳建築史学の構築を目指しています。

これまでは、近代登山の普及の舞台となった上高地や槍ヶ岳、穂高連峰などをフィールドとして山岳建築史学の研究を進めてきましたが、そのフィールドは信州の山岳地に限りません。山岳建築史学は、日本全国の山岳地、さらには、世界の山岳地で進めることのできる研究だと考えています。日本の山岳建築と世界の山岳建築は、何が同じで、何が違うのでしょうか。また、そこにはどのような文化的な背景が存在しているのでしょうか。研究の構想は膨らみますが、まずは着実に日本の山岳建築史学を構築し、その先に世界の山岳建築史学を構築していきたいと考えています。

地域とともに成長する研究室を目指して

紹介した研究をはじめ、研究室で進めている研究の大部分は、信州の実際のフィールドに結びついたもので、地域（市町村の教育委員会や博物館など）との連携のもとに行っています。信州には、多くの魅力的な歴史的建造物が遺存しています。これらを積極的に保存・活用することが、自然や文化をいかした魅力的な地域づくりの手段になると考えています。実際のフィールドにもとづいた建築史学の研究を進め、歴史的建造物の保存・活用を通して信州の豊かな自然や文化を未来に伝えていく、こうした研究活動を積極的に展開し、地域とともに成長する研究室を目指していきたいと考えています。

微生物の力を使ってものづくり (天野・水野研究室)

物質化学科 (物質工学科) 教授 天野 良彦

物質化学科 (物質工学科) 助教 水野 正浩



「工学部にも生物の研究をしている研究室があるんですね。」

工学部で開催される各種イベントでの研究室見学会の際に、良く言われる感想です。生物（生命化学）と工学の融合は現在では一般的だと思うのですが、高校での理科学科（化学、物理、生物）の分類に慣れてしまっていると、珍しく感じるのかもしれない。

私が所属している研究室は、天野良彦教授を中心に、14名の学部・大学院生に加え、職員・ポストドク2名の総勢18名で構成されています。チーム一丸となって「微生物のもつ力（酵素）を利用したものづくり」に取り組んでいます。今回、我々の研究室の紹介をさせて頂ける機会を得ましたので、最近取り組んでいる研究の一つを紹介させていただきます。



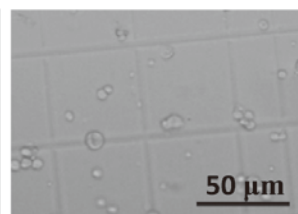
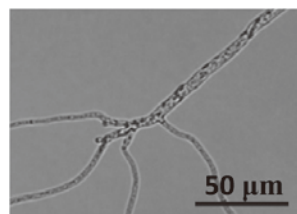
世界を救うウスバタケ！

～産業利用を目指した育種への取り組み～

ウスバタケ (*Irpex lacteus*) は、白色腐朽菌と呼ばれる担子菌（きのこ）の一種です。きのこと言ってもお店で売られているような一般的な食用のものではなく、サルノコシカケのような硬質きのこです。このウスバタケは木に着性し、その植物細胞壁を分解します。特に白色腐朽菌は、植物細胞壁の三大主要成分であるセルロース、ヘミセルロース、リグニンをそれぞれ分解することが可能な酵素群を有していることから、バイオマス分解に適した微生物だと考えられています。このウスバタケのゲノムDNAを解析することで、細胞壁分解に必要な酵素遺伝子

の種類や数を知ることができます。更に、それらの遺伝子を取り出し、他の微生物を使って多量に作らせることで、目的酵素の性質や機能を調べることも可能になります。これまでに、セルロース加水分解酵素を中心に種々の遺伝子の単離と組換え酵素を用いた諸性質の解明を進めてきました。現在では、セルロースの加水分解だけに留まらず酸化的分解や、セルロースの結晶構造の緩和に関与する蛋白質の重要性が認識されており、こうした酵素・蛋白質群の研究も進めています。

また、このウスバタケには他の白色腐朽菌にはない利点があります。それは、これまでに産業用酵素として利用されている実績がある点と、食糧難時代には非可食物（食物繊維が多く含まれているもの）を可食物に変えるために使われていた報告がある点です。現在は、食品加工用酵素生産に使用する微生物には厳しい制限があるため、使用実績がない新規の微生物を利用するには大きな壁になってしまうのです。一方で、本菌は培養が難しいなどまだまだ克服すべき課題があります。そこで、現在はより酵素生産に適した菌株への改良を目指し、UV照射による突然変異導入による育種を行っています。



ウスバタケの単細胞化処理

菌糸（写真左）を酵素処理することで、それぞれの細胞（プロトプラスト）に単離させた後（写真右）、UV照射による変異導入を行うことで、改良株の作成を行います。

さて、このウスバタケには、少し別の意味での特別な想いがあります。本菌は、戦中、軍馬に与える馬糧が乏しくなり、消化性の悪い木質を如何に消化性の良いものに変換するかという課題に対し、本学でも教鞭をとられた故西澤一俊東京教育大学名誉教授により選抜されてきた微生物です。それ以降、西

澤先生から神田鷹久本学名誉教授、天野教授へと引き継がれ、最初の学術的報告（1942年）から今年で約75年を迎えます。時代が変わり、馬糧の必要性は無くなりましたが、バイオマスエネルギーへの変換や、植物細胞壁の食品利用等において、再びウスバタケの有する能力が必要とされています。長年に渡る研究成果の積み重ねを活かしつつ、新しい視点からの研究を加え、未来に残していくのが我々研究室の若い世代の使命だとも考えています。

最後に、当研究室の卒業生との話を紹介したいと

思います。我々の研究室では毎年、温泉で1泊をしながらOB会を開催しています。お互いの近況報告だけでなく、色々な分野で活躍している卒業生同士が、新しい分野での融合を起す場にもなっており、実際に共同研究や外部資金獲得に繋がった例もあります。研究室で共に過ごせる期間は短いですが、卒業後もその繋がりを大切に、いつでも訪ねて来られる研究室作りをこれからも目指していきたいと考えています。

（文責 水野正浩）

橋本研究室の紹介

電子情報システム工学科（情報工学科） 准教授 橋本 昌巳



橋本研究室では、生体情報を応用したヒューマンインタフェース（HI）やヒューマンコンピュータインタラクション（HCI）の分野の研究をしています。HI、HCIとは、人とシステムの間情報のやりとりのことで対話的にコンピュータを操作することをいいます。お仕着せにならない自然な思いでコンピュータと対話できることを目指しています。我々が何かをしようとする、まず、思い浮かべ、そちらを向いて、言葉やしぐさで働き掛けます。その行動の中から情報を得て、意図を先取りして、システムに伝えられないか考えています。

最近、取り組んでいるテーマを紹介します。ひとつは脳波を用いたインタフェースです。脳波には自発性の脳波と誘導性の脳波があります。自発性の脳波は特定の事象に関連なく持続的に変動している状態の脳波で、誘導性の脳波は何かの事象に関連して一時的に出現する脳波です。誘導性の脳波である事象関連電位 P300 を応用したインタフェースの例では、いくつかのメニューをディスプレイ上で順番にハイライト表示して、希望する項目のハイライト回数を数えていると P300 成分が出現し、他のメニューがハイライトされているときの脳波と比較することで注目していた項目を知ることができます。P300 成分の脳波は TV ドラマの中では脳指紋と呼ばれていました。また、手や足の運動をイメージ

すると持続的に変動している脳波の周波数成分が変化する現象があります。我々が運動をイメージするとき、その部位や左右の違いで役割を担う脳の部位も異なります。したがって、頭皮上の複数か所から得られる脳波の変化を観察するとイメージした運動の部位が推定できると思われれます。現在は判別方法や判別しやすい運動イメージについて検討しています。本研究室で行っている脳波の計測は、病院で行われる脳波計測に準じた方法で行っていますが、HI、HCI への発展のために写真で示した様な簡易な機器での脳波測定も検討しています。頭皮と接触



簡易脳波計測ヘッドセット

する部分は食塩水をスポンジに浸したもので、不快感も低減され、インタフェースへの応用に近づいているように思います。

もうひとつは顔画像から視線や表情などの人の意図の検出です。カメラで得た顔画像から頭部の向きや眼、口などの各部品の形状を抽出して、その人の意図とつなぐことを試みています。例えば、視線は頭部の向きと眼の向きから得られますが、人の意図がはっきりと表れています。障害者用のコンピュータのインタフェースとして、意図的なまばたきをスイッチして利用することがあります。人は通常でも1分間に平均20回もまばたきをしているといわれていますので、意図的なまばたきと無意識のまばたきを適切に区別する必要があります。まばたきの経過を簡単な画像で表現して、その区別を明確にで

きるようにしました。顔の各部品の動きから得られる表情には、明確に表されない本人の心情が含まれています。表情と心理の関係は明確にされていませんが、表情を応用した自然なインタラクションへの発展を願っています

最後に研究室の様子を紹介します。今年度の研究室の体制は、大学院生5名、学部生3名で、学部生の内2名は大学院に進学を希望しています。研究室活動は週1回の研究に関するミーティングと月1回の他研究室との合同研究報告会です。人を相手にする研究ですから、お互いに被験者になり、お互いの研究への興味も広がっているようです。大学院生が学部生の面倒を適切に見てくれるため、教員として大助かりで、感謝しています。

環境光化学研究室

物質化学科 (環境機能工学科) 教授 錦織 広昌



はじめに

再生可能エネルギーの開発が求められている中、自然エネルギーや未利用エネルギーの有効利用を促進するための基礎技術について研究はとても重要です。光は電気や熱等の様々なエネルギー形態に変換して利用することができるため、質の高いエネルギーであるといえます。よって、太陽光をはじめと

する光の利用に関する研究を行うことは地球環境の保全・改善を考える上で意義深いことと考えます。太陽光発電や有害物質の光分解など、光を積極的に利用した環境保全・改善を行うための技術の基礎となる学問が環境光化学です。当研究室には、2016年7月現在、秘書1名、大学院修士課程学生14名、学部4年生5名の計20名のメンバーが在籍しています。環境光化学研究として、光触媒、色素増感太陽電池、および大気・水質浄化にかかわる基礎研究から応用研究まで幅広く行っています。光のほか天然の粘土鉱物を用いるなど、自然の力を利用した環境浄化の研究にも取り組んでいます。



研究室—グループのゼミの様子

光触媒と粘土鉱物

有害物質による環境汚染を解決する方法として、光触媒による分解・無害化が挙げられます。人や生態系に安全な地球環境を実現するためには、自然の力を利用して環境に負荷をかけない方法で水・大気等の浄化を行うための技術や、化石燃料に頼らずエネルギーを得る技術が必要です。

光触媒とは光のエネルギーを吸収することにより触媒として働く材料で、半導体ナノ粒子の性質を利用しています。光触媒を用いて有害物質を分解する場合には、まず対象物質を光触媒ナノ粒子に吸着させなければなりません。光触媒能を落とさず吸着力を高めるために、吸着力に優れた天然の粘土鉱物をごく少量だけ用いて光触媒と複合化する技術に関する研究を行っています。天然に豊富に存在する粘土鉱物をほんの少しだけ利用することで、吸着・分解の効率を向上させることが可能となります。

光触媒の半導体ナノ粒子は太陽電池の作用電極にも応用できます。これを用いた「色素増感太陽電池」では、太陽光を効率よく吸収する色素を用いることにより、発電性能を高めることができます。また、有機廃棄物を光触媒で分解して発電する「光燃料電池」は、廃棄物の処理と発電を同時に達成することができる一石二鳥の技術です。この処理は燃料となる廃棄物を水の中で反応させるため、水に溶けにくい廃棄物をいかに分散させ、光触媒電極上で反応させるかが鍵となります。

光の効果的な利用

光触媒の性能を向上させるためには、この材料の表面構造を制御するナノテクが必要です。これまでの研究成果を基盤として、光触媒反応を用いた電極材料の表面修飾や改質についての研究を行っていま

す。光触媒ナノ粒子の表面に自身の光触媒能を利用して助触媒となる物質を担持させると、反応効率を高めることができます。金属ナノ粒子のほか金属酸化物の半導体を担持させることも可能です。この方法を利用して、光触媒以外の新たな機能をもった材料の合成にも挑戦しています。

また、近赤外光のようにエネルギーの低い光を、より高エネルギーの可視光に変換する研究も行っています。レーザー光のような高エネルギー密度の光だけでなく、エネルギー密度の低い自然光についてもエネルギーを倍増させることができるようになってきています。

おわりに

地球温暖化防止と持続可能なエネルギー社会の実現に向けて、これまでの技術に加えて新しい発想による発電や廃棄物処理等の技術とそれらの高効率化が必要となってきています。今後は、光を用いた材料合成や表面修飾・改質技術を確立するために積極的に研究を進めていきたいと考えています。当研究室の卒業生は官公庁の環境部門、水処理、大気浄化関連企業、電気・機械メーカーの環境管理部門等で活躍しています。地球環境の保全・改善や新エネルギー開発等の様々な分野において、自然を大切にしつつ自然の力を有効に利用するという考え方を生かしてもらえることを期待しています。

「技報 こまくさ」 第 14 号 平成 28 年 10 月発行
(非売品)

発行者 一般財団法人信州大学工学部若里会
〒 380-8553

住 所 長野県長野市若里 4 丁目 17-1
TEL (026) 266-8209 (FAX 共有)
E-mail : wakasat@shinshu-u.ac.jp

印刷・製本 株式会社アイデスク
〒 381-0025 長野市北長池 1263-1
TEL (026) 244-4551



一般財団法人 信州大学工学部 若里会