

免疫抑制剤を用いない拒絶反応の新規制御法開発

糖尿病の根治療法として、膵島細胞の移植医療が簡便で安全な方法として期待されている。しかしながら、膵島細胞が移植後に生着し、インスリン分泌の生理機能を発揮するには、移植膵島に対する拒絶反応を防ぐ必要がある。現在、この目的で免疫抑制剤が使用されており、移植を受けた患者は生涯に渡って服用することになる。免疫抑制剤の服用は免疫力を低下させることから、感染症や悪性腫瘍を誘発する副作用が懸念される。そこで、理想的には、免疫抑制剤を用いない拒絶反応の新規制御法の開発が望まれている。

これまでの移植治療では、膵島の移植部位として肝臓が用いられているが、肝臓は特有の早期拒絶反応が引き起こされることが知られており、その解決の糸口として、新しい移植部位の開発が期待されている。本プロジェクトでは、これまでに、肝臓に代わる新しい移植法として、皮下脂肪組織内膵島移植法を報告している⁽⁵⁾。本年度は、この皮下脂肪組織内膵島移植法を応用して、免疫抑制剤を使用せずに拒絶反応を制御する方法を開発し、米国糖尿病学会誌「Diabetes」に報告した⁽⁶⁾。具体的には、移植部位である皮下脂肪組織を前処置（免疫抑制因子 TGF β を産生する間葉系幹細胞の誘導）により拒絶反応が発現しない局所環境を創生し、その部位に膵島細胞を移植することにより拒絶反応が回避できることを見出した。将来的に、この拒絶反応制御法は、iPS/ES 細胞由来インスリン産生細胞を移植に用いる糖尿病の再生医療に画期的成果をもたらすことが期待できる。

文献

1. Mera T, Itoh T, Kita S, Kodama S, Kojima D, Nishinakamura H, Okamoto K, Ohkura M, Nakai J, Iyoda T, Iwamoto T, Matsuda T, Baba A, Omori K, Ono J, Watarai H, Taniguchi M, Yasunami Y. Pretreatment of donor islets with the Na⁺/Ca²⁺ exchanger inhibitor improves the efficiency of islet transplantation. *Am J Transplant* 13: 2154-2160, 2013.
2. Iwamoto T, Kita S, Uehara A, Imanaga I, Matsuda T, Baba A, Katsuragi T. Molecular determinants of Na⁺/Ca²⁺ exchange (NCX1) inhibition by SEA0400. *J Biol Chem* 279: 7544-7553, 2004.
3. 喜多知、篠田康晴、根本隆行、小松知広、上原吉就、喜多紗斗美、岩本隆宏：阻害薬非感受性 NCX1 変異体ノックインマウスを用いた薬効評価系の確立：第75回日本薬理学会西南部会（2022年10月1日、高知）
4. Nemoto T, Tagashira H, Kita T, Kita S, Iwamoto T. Functional characteristics and therapeutic potential of SLC41 transporters. *J Pharmacol Sci* 151: 88-92, 2023.
5. Yasunami Y, Nakafusa Y, Nitta N, Nakamura M, Goto M, Ono J, Taniguchi M. A novel subcutaneous site of islet transplantation superior to the liver. *Transplantation* 102: 945-952, 2018.
6. Nakafusa Y, Nitta N, Ishii K, Shirasu N, Iwamoto T, Nemoto T, Nakamura M, Goto M, Iwata H, Taniguchi M, Yasunami Y. Acceptance of murine islet allografts without immunosuppression in inguinal subcutaneous white adipose tissue pretreated with bFGF. *Diabetes* 71: 1721-1734, 2022.



AT を測定することができる (図 1)。循環応答は呼気ガスのようにタイムラグはなく、DPBP は、より鋭敏に AT を捕えることが可能である。DPBP、呼気ガス分析機器による AT を同一検者で測定し、時間的差異について評価した。

健常者および心血管疾患患者(心不全患者を含む)に自転車エルゴメータを用いて ramp 負荷法による心肺運動負荷試験を行う際に、呼気ガス分析器、連続血圧・血行動態測定装置を装着し検査を行った(図 2)。その測定装置は指先にカフを巻き、容積補償法でカフ内部のセンサから赤外線を照射し得た脈圧波形から血圧を測定し、心臓との高さ調整をして血圧値を算出する機器である。実験時には右手示指にカフを巻き、体動によるノイズを除去するため、作製した手台の上に右手を固定した。

心肺運動負荷試験は試験 3 時間前から水分摂取は可能であるが、食事をしない、カフェインをとらない、激しい運動をしないようにし、安静 4 分、10w ウォームアップ 4 分の後、ramp10w で運動負荷を増加し、目標心拍数 80% まで負荷を上げていく。試験によって得られた呼気ガス分析機器による AT、DPBP の時間的差異について解析した。呼気ガス分析機器を用いた AT の判定方法は一般的になされている V-Slope 法、ガス交換比、二酸化炭素換気当量、酸素換気当量、呼気終末二酸化炭素濃度、呼気終末酸素濃度といった指標から総合的に判定した。

結果

心肺運動負荷試験中の DP は、酸素摂取量と正相関した ($r=0.873$, $p<0.001$)。呼気ガス分析により求めた AT は、連続血圧・血行動態測定による DPBP と正相関した ($r=0.61$, $p<0.001$)。健常者におけるその相関性 ($r=0.83$, $p<0.001$) は、心血管疾患患者のそれよりも高い相関を示した ($r=0.45$, $p=0.045$)。DPBP は、AT よりも 65.9 秒早く現れた。呼気ガス分析による AT には、実際の AT と 1 分間のタイムラグがあることに一致していた。尚、これらの結果の一部は、第 28 回日本心臓リハビリテーション学会学術集会にて報告した[6]。

結論

連続血圧・血行動態測定による DPBP は、健常

者のみでなく心血管疾患患者においても呼気ガス分析により求めた AT よりも運動強度の設定に簡便で有用な方法であることが示された。

今後の展望

連続血圧・血行動態測定装置を利用した DP 測定は、運動中の DPBP に有用であり、今後は、心不全患者に焦点をあて、運動負荷試験中、または、AT 強度の運動による心臓リハビリテーション中の DP の変動により心不全発症および増悪の予測が可能であるかを検討予定である。

文献

1. (厚生労働省「人口動態統計」) ※2018年までは確定値、2019年は概数 <https://www.mhlw.go.jp/content/11201000/000650616.pdf> より
2. 急性・慢性心不全診療ガイドライン (2017年改訂版)、日本循環器学会/日本心不全学会合同ガイドライン.
3. Tanaka H, Kiyonaga A, Terao Y, *et al.* Double product response is accelerated above the blood lactate threshold. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:503-508.
4. Tanaka H, Matsuda T, Tobina T, *et al.* Product of heart rate and first heart sound amplitude as an index of myocardial metabolic stress during graded exercise. *Circ J.* 2013;77:2736-2741.
5. Adachi H. Cardiopulmonary Exercise Test. *Int Heart J* 2017;58:654-665.
6. 末松保憲、運動負荷時の血圧・心拍応答を改めて見直す. 第28回日本心臓リハビリテーション学会学術集会. 学術委員特別企画シンポジウム, 2022. 6. 12. 沖縄

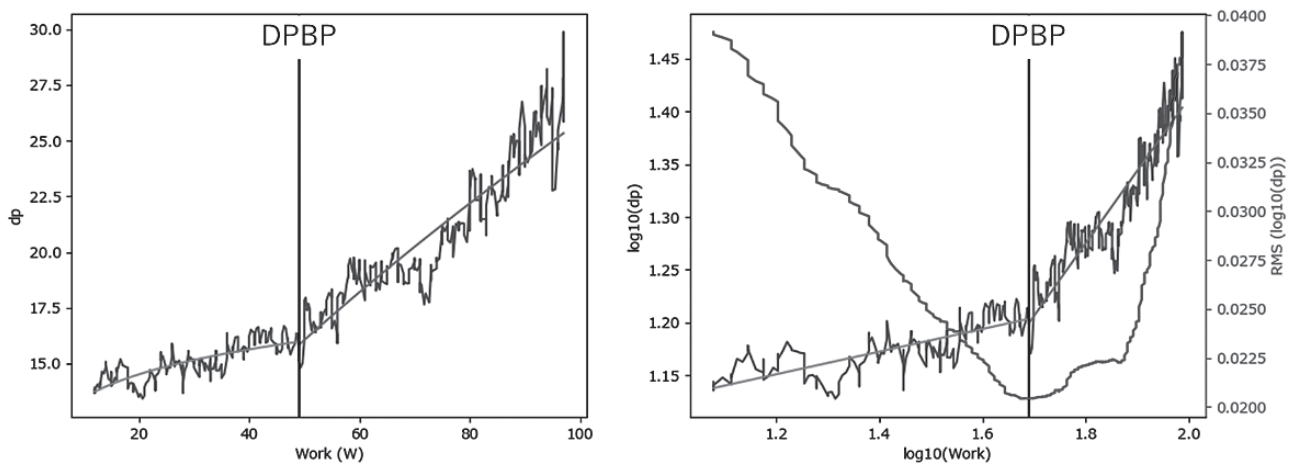


図1：運動負荷中のDP変化(左)と最小二乗法による残渣平方和によるDPBPの算出(右)



図2：連続血圧・血行動態測定装置(左)と実際の研究方法(右)

劣化が加速する^[1]。

カナダの Gans^[2]らは、新型コロナウイルス感染症の抗原検査キットの検査精度に関する調査を行った。その結果、特定のメーカーの特定のバッチで製造されたキットにおいて偽陽性がクラスターの発生したことを報告し、キット製造上の不具合が検査精度の低下を引き起こしていると考えしている。また、国内でも、類似の事例が報告されている。これらの不具合の詳細な原因は不明であるが、前述のように、NCの劣化によりタンパク質と反応する酸などが多量に発生するため、抗原検査結果に何らかの影響を及ぼす可能性がある。

3. 研究概要

NCは、抗原検査用の他に、火薬原料としても用いられている。NC系火薬は、劣化による反応熱によって貯蔵中に爆発事故を引き起こす危険性がある。一方、抗原検査用NC膜は、火薬よりも分子内のONO₂基の数が少ないため、内在するエネルギーが小さく危険性/反応性が低いと認識されており、NC膜劣化に関する研究例が少ない。このため、NC膜に対して種々の評価試験を実施し、定性的に劣化挙動を把握することを試みた。

表1は、各種原料NC（抗原検査用）に対するAbel試験の結果である。Abel試験とは、NCから発生するNO_xを試験紙に接触させ、試験紙が変色するまでの時間を測定する規格試験（JIS K 4810）である。Abel試験では変色時間が8分以下のとき、安定度が低い（劣化している）と評価する。表中のNCは、全て購入して間もないものであるが、既に8分を切るものもある。

また、表中のNC-Aから薄膜を調製し、熱測定を実施した。図4は、その結果であり、試料を加熱した際の温度と試料から発生する熱の発生速度の関係

表1：原料NCのAbel試験結果

サンプル	変色時間 [分]
NC-A	> 60
NC-B	3
NC-C	5
NC-D	> 60
NC-E	28

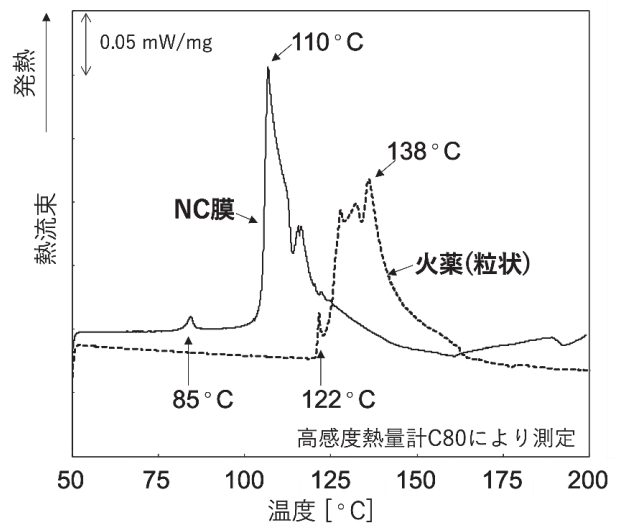


図4：NC膜と火薬の熱発生挙動
(昇温速度=0.05 K/min)

を示している。NC膜の場合、NC系火薬と比較すると、30～40°C発熱ピーク温度が低下している。すなわち、NC膜は、火薬よりも分解・劣化しやすいことが分かる。なお、図中の火薬は、室温下（断熱）において約1年で完全に分解すると予想されるサンプルであるため^[3]、NC膜の場合、条件によっては数ヶ月で劣化する可能性がある。

4. まとめと今後の予定

以上の結果から、抗原検査用NC膜は、NC系火薬よりもさらに劣化しやすい可能性がある。今後は、劣化を促す要因を解析し、劣化防止技術の確立を目指す。また、劣化と抗原検査結果の関係性は未だ不明である。このため、劣化したNC膜を使用して実際にICAを実施し、劣化の度合いと検査精度の関係を調査する予定である。

参考文献

- [1] 越光男ら, 火薬学, 日本火薬工業会資料編集部 (2012) .
- [2] J.S. Gans, et al., JAMA, 327, pp.485-486 (2022) .
- [3] 羽場彩音ら, 火薬学会秋季研究発表会, pp.59-60 (2020) .

モールド法が提案されている。この成形法は、単純形状の部品には連続繊維強化形態のCFRTP基材をプレス成形によって成形し、その基材上に非連続繊維強化形態のCFRTPを射出成形によって、複雑な形状部品（例えば、リブやボス）を成形する方法である。接合原理としては、熱可塑性樹脂の特性を活かし、熔融されて動きやすくなったポリマーの分子が拡散することによって接合強度が発現される。しかし、接合部分は樹脂層が形成されるために、強化繊維の補強効果が得られないことも想定される。

そこで、基材表面の接合界面部にカーボンナノチューブ（CNT）を配置することを試みた。成形例を図2（a）に示す。本研究では、ショートビーム法による3点曲げによって層間せん断強度（ILSS）を求める手法にて接合強度を求めた。その結果を図2（b）に示す。この結果より、CNTを1wt%添加することで短繊維の炭素繊維（SCF）を射出オーバーモールドした場合では、ILSSが約18%向上することが示された。引き続き、射出成形時の射出オーバーモールド樹脂とインサート基材間の熱伝導や結晶融解の観点から接合強度をさらに高めることを検討している。

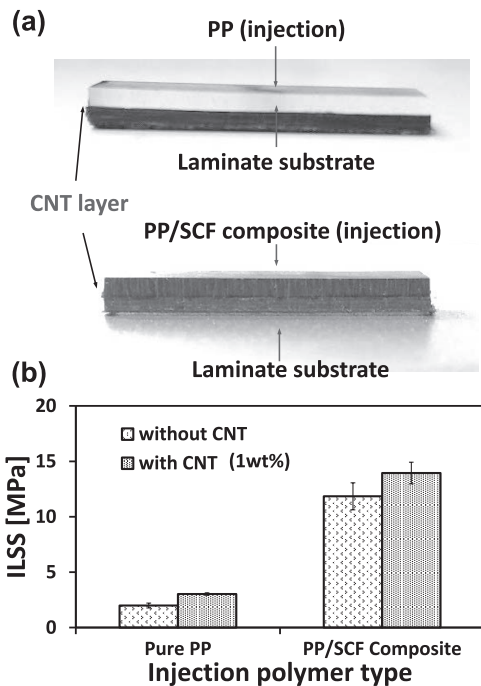


図2：(a)ナノ繊維添加射出オーバーモールド成形品の例、(b)層間せん断強度（ILSS）の結果

ナノ繊維添加による炭素繊維周りの結晶成長効果⁵⁾

結晶性樹脂において、ナノ繊維は結晶核効果を有

し、結晶がナノ繊維から成長することが既によく知られている。よって、複合材料にナノ繊維を添加する意義は、結晶性ポリマーの結晶の改質（結晶サイズの微細化や結晶組織の局所的なコントロール）が可能となることも大きな利点であると考えている。

そこで、セルロースナノファイバー（CNF）の添加位置を繊維表面または樹脂マトリックス（ポリプロピレン（PP））と変化させ、形成される結晶組織に与える影響を調べた。図3に偏光顕微鏡観察図を示す。樹脂側へCNFを添加した場合は、樹脂側から結晶が成長する一方で、炭素繊維近傍には明確な結晶成長が見られない。一方で、繊維表面へCNFを添加した場合は、炭素繊維近傍の結晶成長（トランスクリスタル）が見られ、CNFの添加位置によって明らかに結晶状態が異なることが示された。このトランスクリスタルの形成による、樹脂/繊維の界面せん断強度の向上が期待されている。

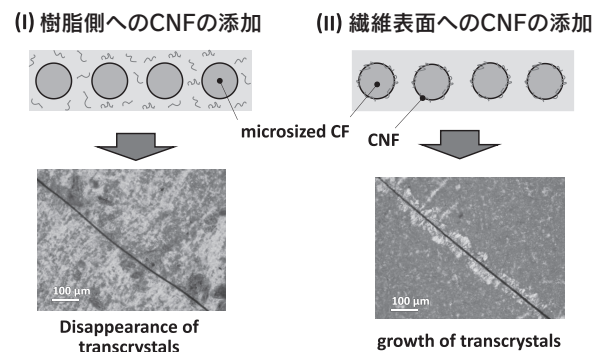


図3：CNFの添加位置を変更した場合のPPの結晶組織の偏光顕微鏡観察図

ナノ繊維添加3Dプリンター用フィラメント⁶⁾

これまでの研究取り組みを紹介したように、ナノ繊維添加による樹脂接合界面部の補強や、繊維表面へのナノ繊維の添加によるトランスクリスタルの形成等、目的に応じて局所的にナノ繊維を配置することによって、種々の特性を複合材料に付与できることが示唆されている。近年、熱溶解積層法における3D積層造形技術において、フィラメントに連続繊維を複合化して成形品の機械的特性を向上させる試みがなされている。そこで、3Dプリンター用の複合材料フィラメントにおいても、局所的にナノ繊維を配置することにより成形品の機械的特性の改善が可能となると考えている。また、3Dプリンター用フィラメントには生分解性樹脂であるポリ乳酸

(PLA) が一般に用いられているために、強化繊維に天然繊維、ナノ繊維にCNFを用いれば、天然素材からなるカーボンニュートラルへ貢献できる環境にやさしい高強度複合材料の成形が可能となる。

本研究では、天然繊維からなる撚糸に連続的にCNFを塗布し、押出機を用いて連続的にPLAを複合化させるプロセスを開発した。そのプロセスの概要を図4に示す。合わせて構成材料、CNF添加天然繊維の走査電子顕微鏡(SEM)像、作製したCNF添加天然繊維PLA複合材料のフィラメントを示す。CNFを天然繊維に塗布することにより、糸のヤング率のみ約21%向上し、フィラメントの引張強さおよびヤング率は20.0%および26.6%向上することが示された。これは、フィラメント自体のヤング率の向上と繊維/樹脂の界面接着性の向上によって得られた結果であると考えられる。引き続き、3Dプリンターを用いた成形及びその成形品の機械的特性評価の研究を進めている。

おわりに

以上、ナノ繊維添加マルチスケール複合材料の成形および物性評価・改善に関する研究取り組みを紹介した。自動車業界を中心にCFRTPに大きな注目が集まりつつあるが、欧州では天然繊維を用いた複合材料(グリーンコンポジット)の検討も行われている。ミクロな組織構造から考察を深め、最適な組織構造を創製できる成形加工法を考案し、複合材料

のさらなる性能の向上を目指したいと考えている。

参考文献

- 1) 国土交通省, 運輸部門における二酸化炭素排出:
https://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000006.html
- 2) 富士経済グループ, マーケット情報:
https://www.fuji-keizai.co.jp/market/detail.html?cid=21069&view_type=2
- 3) V. Dikshit, S.K., Bhudolia, S.C., Joshi. Multiscale Polymer Composites: A Review of the Interlaminar Fracture Toughness Improvement. *Fibers*. 2017; 5(4):38.
- 4) K. Matsumoto, T. Ishikawa, T. Tanaka, A novel joining method by using carbon nanotube-based thermoplastic film for injection over-molding process. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*. 2019;38(13):616-627.
- 5) K. Matsumoto, K. Takemura, The influence of the addition position of cellulose nanofibers on the crystalline and mechanical properties of carbon fiber-reinforced polypropylene composites, *Composite Interfaces*. 2022;29(9):1053-1070.
- 6) 松本紘宜・竹村兼一・喜多村竜太・高木均・加藤木秀章・田中達也, ナノ繊維添加繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の創製プロセスに関する研究, 神奈川大学 工学研究. 2022;(5):65-69.

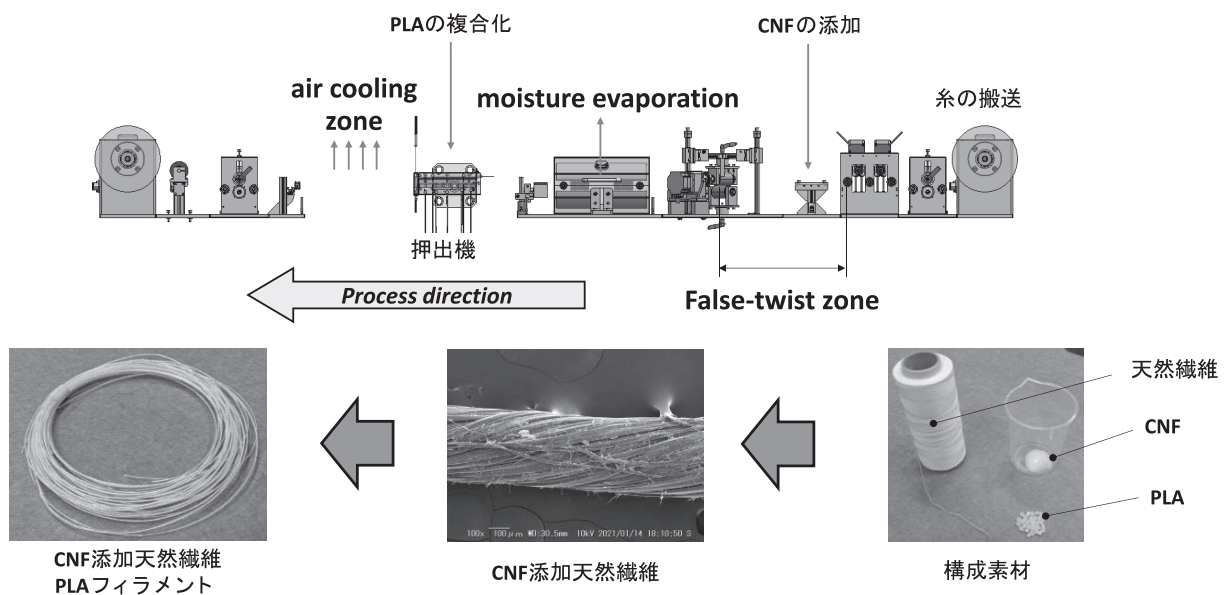
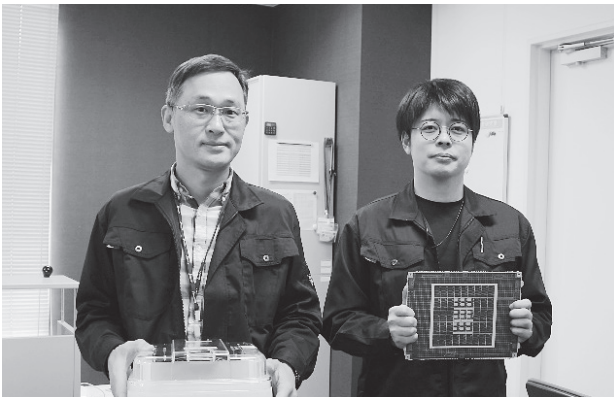


図4: CNF添加天然繊維PLA複合材料フィラメントの製造プロセスおよび作製したフィラメントの様子

標準分野)「ポスト5Gモバイルエッジ用三次元電子モジュールの実装評価方法に関する国際標準化」の採択を受け進めているところです。世界初の部品内蔵基板関連の国際規格が、本学主導の日本提案です。すでに3件発行されています。今後も2件の発行に向けて活動を継続中です。今後半導体技術の中で重要となってくる三次元実装の分野においてキーとなる国際規格が日本発で特に本学によって取得されることは大変大きなことだと思います。



三次元半導体研究センター外観



韓客員教授（左）と金山研究員（右）



高分子であるシェラックをコーティング材として用いて、超臨界二酸化炭素高分子マイクロコーティングに成功している。また、マラリア、デング熱、黄熱病、日本脳炎などの蚊が媒介する感染症対策として、蚊の幼虫が成虫になることを妨げ他の生物に害を及ぼさない幼若ホルモン類似体であるピリプロキシフェンを芯物質として、超臨界二酸化炭素高分子マイクロコーティングにて高分子コーティングすることで、ピリプロキシフェンの徐放性を高め効率的に蚊を駆除する方法を開発した。

さらに当研究所では、相分離・界面挙動を利用する超臨界相分離法を開発した。図3に相分離・界面挙動を利用する超臨相分離法の原理図を示す。圧力誘起相分離法(PIPS; Pressure-Induced Phase Separation)は、超臨界二酸化炭素と助溶媒に溶解する高分子と目的物質を分散した溶液に、超臨界二酸化炭素を送液することにより、高分子が溶解し、減圧の際に、相分離と高分子析出が起こることにより、高压容器内で析出・高分子マイクロコーティングを実現する方法である。超臨界流体エマルジョン抽出法(SFEE; Supercritical Fluid Extractions of Emulsion)は、水などの極性溶媒中に、低極性の有機溶媒(オイル)、高分子、芯物質が分散したO/Wエマルジョン溶液に対して、超臨界二酸化炭素を添加し、エマルジョン中の有機溶媒などを超臨界二酸化炭素で抽出した後、溶液を減圧することで、低極性の有機溶媒に溶解していた高分子が析出し、芯物質に対して高分子ナノコーティングを実現する方法である。より微細のナノ構造形成する方法として、図3(c)に示す超音波を超臨界二酸化炭素と水などの界面に直接照射する超音波照射超臨界二酸化炭素ナノ界面法がある。この方法は、ナノカプセルなど超微細構造を温度・圧力・組成などの操作因子で制御する方法として注目されている。図3(c)の超音波直接照射超臨界二酸化炭素ナノ界面法を実施するための装置としては、例えば図4のような超音波ホーンを内蔵した高压容器が用いられる。超音波照射ホーンに高压セルの上蓋が取り付けられており、これにより高压下での超音波直接照射を可能としている。ただし、高压を維持したまま超音波を照射するためには、高压セル上蓋の内側の圧力止め特殊ゴムパッキンが高压セルと密着して密閉系となる

ことが重要となる。芯物質に対して高分子ナノコーティングを実現するためには、超臨界二酸化炭素と低極性溶媒に超音波を照射し、ナノ界面を攪乱することが効果的であると述べたが、これは超音波の直接照射が最も効果的である。従来の高压容器外から振動板を用いて超音波照射を実施する超音波間照射型装置では、高压容器内に十分なエネルギーが伝わらずに、攪拌が不十分となる。また、高压容器内の振動子を用いて超音波照射を実施する投げ込み型振動子装置であっても、超音波照射による剪断力が小さく、二酸化炭素相と低極性溶媒相の界面を十分に攪乱できない。一方、当研究所が開発した超音波ホーンを内蔵した超音波直接照射型装置では、超音波ホーンから照射された縦波が二酸化炭素相と低極性溶媒相を大きく攪乱するため、ミクロ相分離を誘起し、ナノ界面が形成される。界面積が大きくなった特殊な相では、リポソームの形成やピッカリングエマルジョンを利用したナノカプセル生成など、従来の二酸化炭素を用いたDDSナノカプセル製造では困難とされてきた系が製造可能となった。

当研究所は、このようなナノ・マイクロ技術を用いて国内外に既に強い連携体制を確立しており、産業発展の著しいインドネシア・マレーシアなどのアジア地域と連携し、「環境低負荷製造技術」を国際学会の招待講演にて情宣している。さらに、文部科学省の科研費ならびに企業からの受託研究を受けて、特許申請、論文作成など多くの成果を上げている。

文献

- 1) K.Mishima, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 60, 3,411-432 (2008)

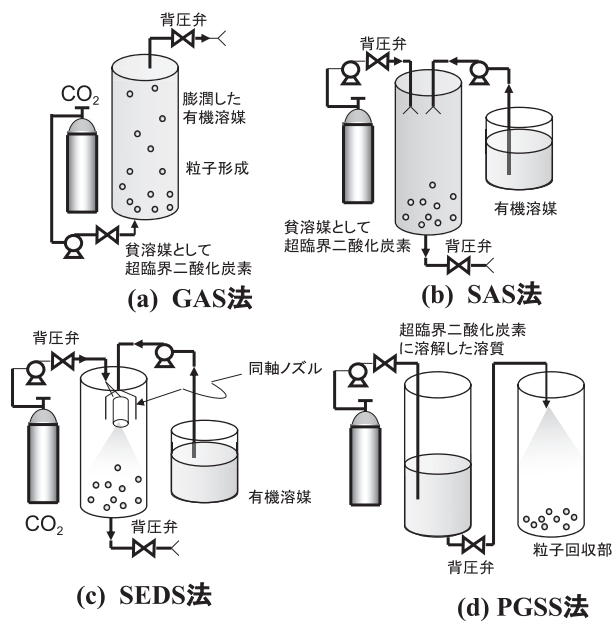


図1：貧溶媒添加析法およびガス飽和懸濁法の原理図¹⁾；
(a) GAS法、(b) SAS法、(c) SEDS法、(d) PGSS法

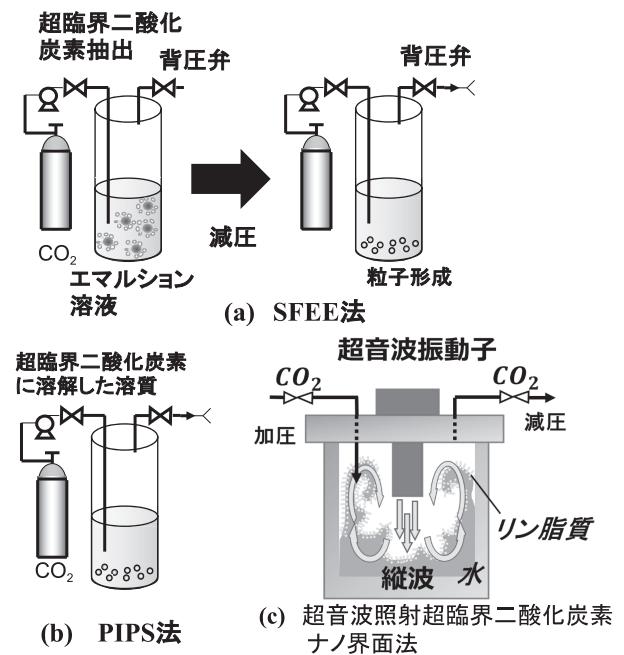


図3：相分離・界面挙動を利用する超臨相分離法；(a) SFEE法、
(b) PIPS法、(c) 超音波照射超臨界二酸化炭素ナノ界面法

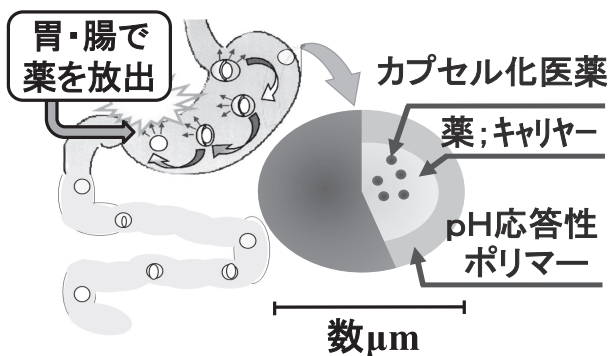


図2：DDSにおける高分子マイクロカプセルのイメージ

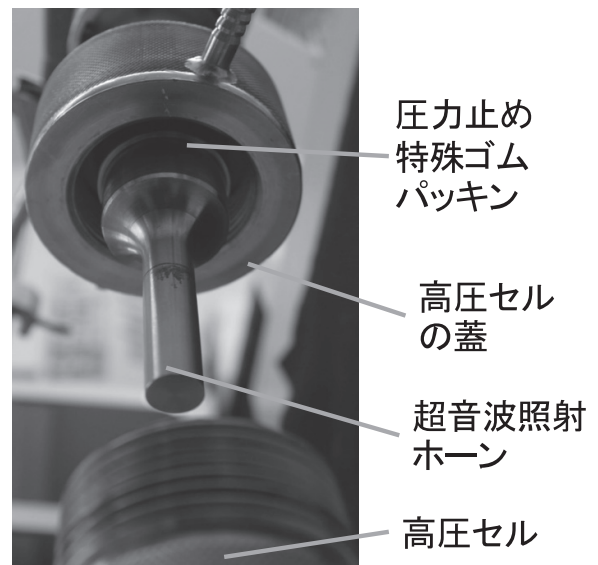


図4：超音波ホーンを内蔵した高圧容器の写真

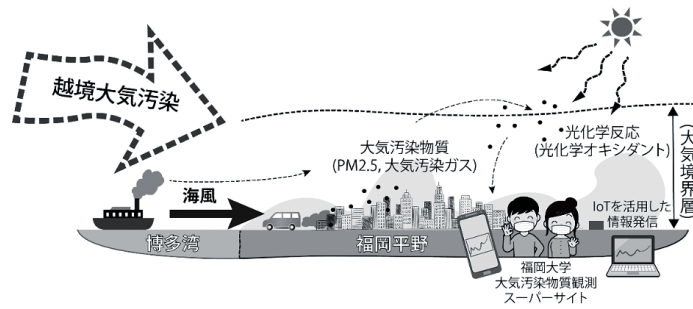


図1：『福岡から診る大気環境研究所』は、日本最大級の大気エアロゾル・ガス観測のスーパーサイトとして観測を継続するとともに、これまで得られた知見、現在の観測等について情報発信を行い社会に貢献する。

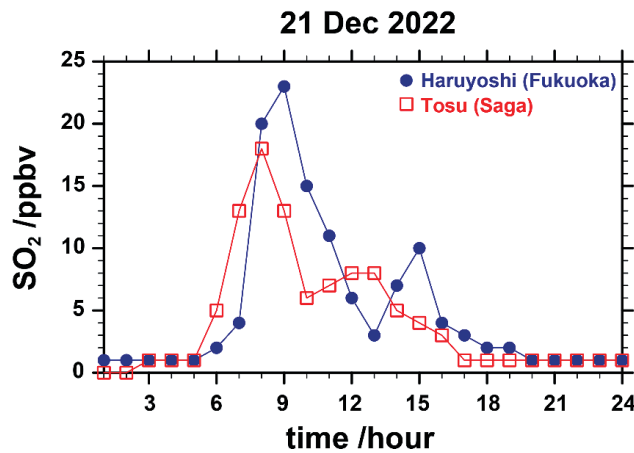


図2：2022年12月21日の春吉（福岡市）、鳥栖（佐賀県）における二酸化硫黄（SO₂）濃度の時系列（1時間値（速報値）、環境省ウェブサイト（そらまめくん）より）。

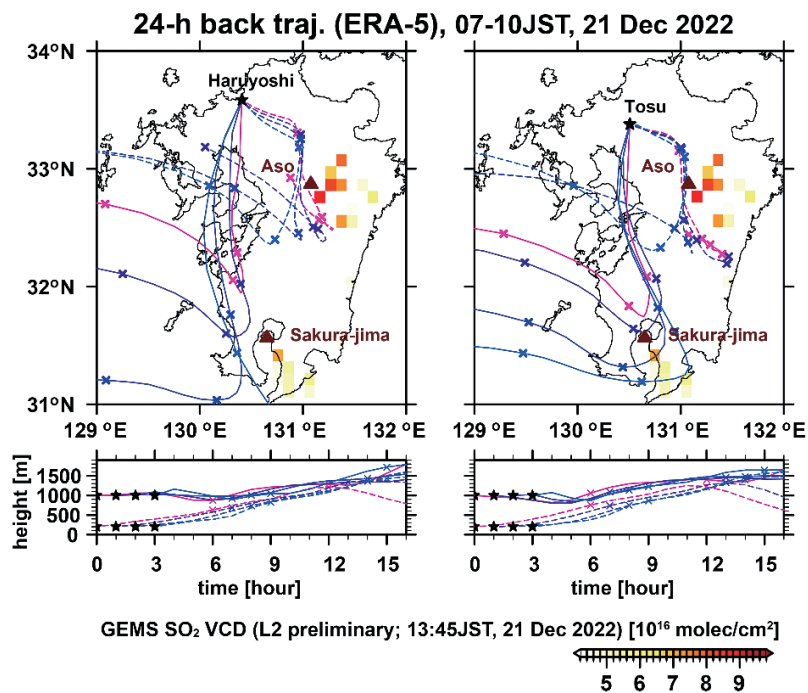


図3：高濃度イベント前日の12月20日の二酸化硫黄（SO₂）濃度（GEMS人工衛星、L2 preliminary；鉛直積算量（VCD）ならびに後方流跡線（起点高度200m、1000m。ERA-5 気象データを利用）。

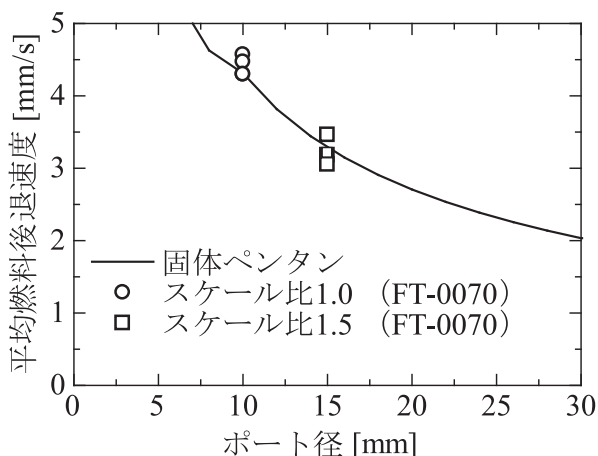


図1：固体ペンタンの理論的スケール効果とFT-0070の燃焼実験結果比較

2.2 観察窓付き燃焼器を用いた低融点燃料の燃焼状況観察

低融点燃料は固体燃料表面に液相が生成される。液相の挙動については未だ不明瞭な箇所が多い。そこで、観察窓付き燃焼器内で低融点燃料を燃焼させ、ハイスピードカメラを用いて光学観察を行った。実験は円柱状燃料の上端面にガス酸素を吹き付け燃焼させた。結果、燃料表面上の液相から直径約0.8mmの液滴の生成が確認された(図2)。また、燃料液滴が燃焼火炎を通過し、着火する過程についても確認された⁶⁾。今後、より高圧力下での液層挙動の観察及び液相温度の測定を行い、低融点燃料の燃焼メカニズムの解明を行う。

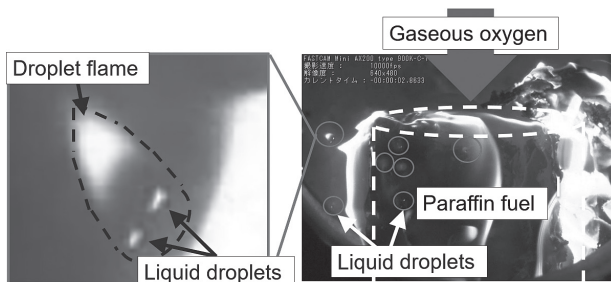


図2：燃焼中のパラフィン燃料と液滴の燃焼

3. 宇宙輸送系エンジニア育成

安全性の高いハイブリッドロケットを題材として実践的な工学教育を行っている。本プロジェクトには1年生から参加可能である。学生達は自分達で安全に飛翔するロケットの設計から製作、運用を行う。

教員は燃焼実験や打上実験の安全性を確認する。学生は主体的かつチームでのものづくりが求められ、主にプロジェクトマネージャ、ロケットの構造の設計製作を行う機体班、エンジンの試験や運用を行う燃焼班、搭載計器の設計製作を行う電装班に分かれ一つのロケットを製作する。チーム内でのコミュニケーションが必要となり、技術だけでなくコミュニケーションによる円滑なチーム活動によって総合的なものづくり力が養われる。また、プロジェクトマネージャはチーム全体のスケジュール管理や人員の配置など長としての活動が求められ、対外的な連絡・交渉も行う。ロケットは安全審査を経て打上げに至る。安全審査では自分たちのロケットが安全に飛翔することを定量的に文章でまとめ、安全審査員とのやり取りの中で設計変更や、地上での事前試験結果の反映、より読み手に伝わるようにドキュメントをブラッシュアップしていく。今年度は昨年度の打上実験から得られた結果を基に、主にロケットの飛翔中の動的安定性の向上及び、上空でパラシュートを機体外に放出するパラシュート放出機構の改良を行い、全長約1.4m、重量約6.6kgのロケットを製作した。打上実験は秋田県能代市で8月に開催された能代宇宙イベントにて実施した(図3)。結果、頂点付近でパラシュート放出機構が働きパラシュートが機体外に放出されたが、パラシュートの紐が絡まり完全開傘には至らなかった。また、発射台脱出直後に約17°姿勢が傾むくなど一部課題が残ったが、昨年度のロケットの課題に対しては改善ができた。実験後は搭載していた電装(気圧センサ、加速度センサなど)から得られたデータを基に飛翔状況を解析し、今後の課題を抽出した。最後に本実験から得られた成果を学会で発表した⁷⁾。

本プロジェクトを通じて、学生らは座学で培った知識を実践することが出来た。また、チームでのものづくりを経験したことで、コミュニケーション能力、課題解決能力を伴う総合的なエンジニアとしての能力を身に着ける機会を提供できたと考える。得られた結果を評価し、社会に発信する学会に参加することで、論理的な文章作成能力、プレゼンテーション能力の向上にも繋がったと考えられる。

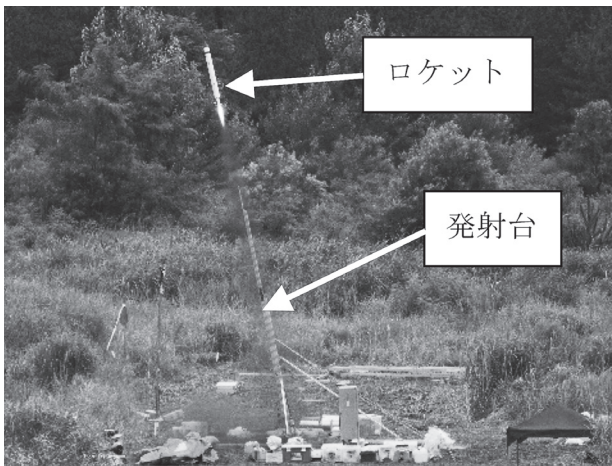


図3：点火直後のハイブリッドロケット

4. 対外的な活動

以下の展示会及び講演会において出展・講演を行った。

- 2022年9月3～4日：
めくるめく宇宙博（第34回 ISTS 福岡・久留米大会キックオフイベント）：久留米シティプラザ
- 2022年12月10日～2023年1月9日：
SPACE ENGINEERING CHALLENGE－宇宙エンジニアからの挑戦状－：福岡県青少年科学館

5. まとめと今後の展望

高安全性かつ低コストなハイブリッドロケットの研究開発及びその特徴を生かした教育を行っている。基礎研究によって低融点燃料のスケール効果、燃焼中の液相の挙動に関する新たな知見が得られた。学生が設計～実験・評価まで一貫して経験することで総合的なエンジニアとしての能力を学習する機会を提供できたと考える。今後は基礎的な研究及び教育成果を基に、産学連携による小型ロケット開発を行い、九州地方を中心とした宇宙産業創出を進める。

参考文献

- 1) The Satellite Industry Association “State of the Satellite Industry Report” 2019.
- 2) Carlos Niederstrasser “Small Launch Vehicles – A 2018 State of the Industry Survey” 2018.
- 3) 秋山 演亮 “宇宙関連の人材育成にあたっての要検討事項” 2019.

- 4) Karabeyoglu, M. A., et al., “Combustion of Liquefying Propellants: Part 1, General Theory” 2002.
- 5) 小山路ら “パラフィンワックスを用いたハイブリッドロケットのスケール比 1.0 及び 1.5 におけるスケール効果に関する実験的研究” 2023.
- 6) 鮫島ら “ハイブリッドロケット用観察窓付き燃焼器による燃料後退速度測定” 2022.
- 7) 山本ら “能代宇宙イベントにおける小型ハイブリッドロケット打上実験” 2022.



のが図1である。モットーとしては、学生の育成が基本にあるのだからこのようなL5G導入を通じ、学生を啓蒙する目的で“ICTに強い大学なら福岡大学と認知される大学づくり”を目指す、をベースとした。

その中でいくつか出てきた例を挙げると、図書館や食堂の混雑度等の学内状況を把握してリアルタイムにサイネージなどに掲示することや、無線LAN不感エリアの補完、自動運転の実施、アスリートのトレーニングへの活用などがリストアップされた。また病院の新設に当たり一気にL5Gを利用した内線システムへの更改の期待も寄せられた。

取り組み候補の具体性のレベルと時間軸でマップした結果が図2である。喫緊にはCOVID-19対策での活用も述べられつつ、長期的にはCNへの貢献や人材育成が位置付けられた。また具体的には学内警備やセキュリティ充実が重要とされた。ただ端末数もまだ多くは期待できないことから、小結論としては、ポータビリティのある機動的なL5Gを導入し多様な企画に活用すべし、という結論となった。

いずれにせよ学内での活用を狙うという意味では、尖がった、これだけの、ここしか使えないアプリを決め打ちするよりも、学生・教員を含め自分たちが“使えるな”と思える平易なユースケースを出してゆくの重要ではないか、と考える。

6. 候補設置箇所

設置候補場所検討に際してはコンサルティングの一環で通信事業者のスタッフのサポートを受けた。結果文系センター棟屋上の設置が適当と結論付けられた。屋上の適切な場所に基地局を設置すれば、要望に応じ、A棟前の芝生広場、反対側のサッカー場、西側の陸上競技場のいずれをカバレッジにする際にも対処が可能である。また文系センター棟に設置すれば情報基盤センターにも近く学内ネットワークへの接続も比較的容易と考えられる。

7. 本検討の振り返りと今後の期待

大学として何が必要かをフォーラム的アプローチとで議論できたのは良かったと考える。ボトムアップからのニーズを汲み取ったシナリオ候補がリストできたことも成果であった。先生の中からは、“こ

んなのどうやって決めてゆくのかわからず、勉強のために参加したが、こうやって進めるのがわかった、勉強になりました”、との感想も貰った。

設置費用のバリアが高いのでL5Gの実際の導入は容易ではない。導入促進目的で、本年度総務省のローカル5G実証実験公募にスポーツ科学部とのコラボレーションで応募したが残念ながら不採択となった。しかしまた機をみての応募を考えており、皆様方の応援をお願いしたい。

一方この1,2年で技術・標準化も進展し、これまでより進化した無線LANが登場してきた。規格上は最大9.6Gbpsの高速化が図られたWiFi6 (IEEE 802.11ax)、広帯域化でさらなる通信速度向上が期待されるWiFi 6E、数Mbit/s程度と低速だが1km程度のカバレッジが得られるWiFi HaLow™ (IEEE802.11ah) などがある。これらを用途に応じて使い分けることで、学内にそれぞれのニーズにあった低コストな無線通信システムが構築できる可能性も出てきており、柔軟に検討を進めたい。

8. おわりに

本稿ではこれまで実施してきた学内におけるL5Gの検討結果について報告した。末筆ながら本検討会にご参加いただいた皆様に御礼申し上げます。

なお本検討結果のファイルはFU_Box^[5]より2024/03まで取得可能である。

[1] <https://www.ccr.kyutech.ac.jp/local5g/>

[2] <https://www.kyusan-u.ac.jp/news/qtnet-221207/>

[3] https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01ryutsu06_02000303.html

[4] <https://go5g.go.jp/>

[5] <https://bit.ly/403VmEz>

第1章 導入の背景・目的
1.4 ローカル5G導入の目的イメージ図

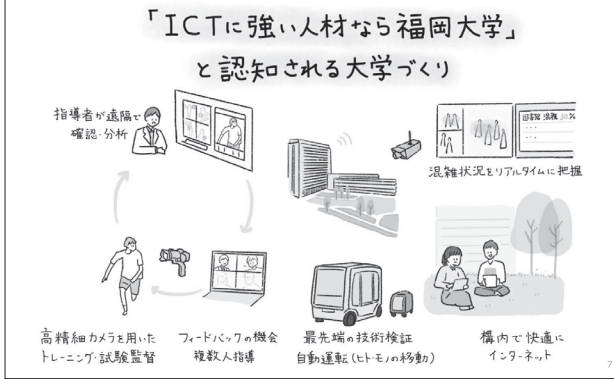


図1：目的のイメージ

第1章 導入の背景・目的
1.6 導入のためのニーズマップ

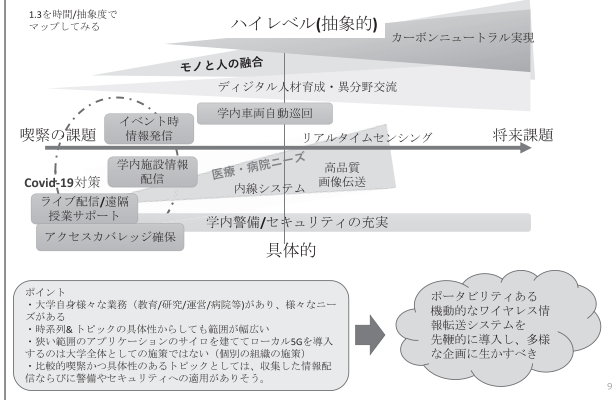


図2：導入のためのニーズマップ

