

平成21年度

長崎県工業技術センター研究報告

REPORT OF
INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER OF NAGASAKI

No 39

長崎県工業技術センター

INDUSTRIAL TECHNOLOGY CENTER OF NAGASAKI

目 次

1．県内資源を活用した加工食品の開発	1
食品・環境科 科 長	河 村 俊 哉
食品・環境科 専門研究員	晦 日 房 和
食品・環境科 主任研究員	玉 屋 圭
食品・環境科 研 究 員	松 本 周 三
長崎国際大学 薬 学 部 教 授	榊 原 隆 三
九州大学大学院 農 学 研 究 院 准 教 授	松 井 利 郎
長崎県立大学シーボルト校 看 護 栄 養 学 部 教 授	田 中 一 成
	食品製造企業5社
2．全自動収穫ロボットシステムの開発	3
機械システム科 主任研究員	田 口 喜 祥
機械システム科 主任研究員	入 江 直 樹
電子情報科 主任研究員	堀 江 貴 雄
農林技術開発センター 野 菜 研 究 室 主任研究員	陣 野 信 博
農林技術開発センター 干 拓 営 農 研 究 部 門 専 門 研 究 員	片 岡 正 登
京都大学 大 学 院 農 学 研 究 科 教 授	近 藤 直
3．イカ肉の高度有効利用に関する研究	9
食品・環境科 主任研究員	玉 屋 圭
総合水産試験場 水産加工開発指導センター 主任研究員	桑 原 浩 一
4．本県特産緑茶・ピワ葉を原料とした高機能性発酵茶の開発	14
食品・環境科 主任研究員	玉 屋 圭
食品・環境科 研 究 員	前 田 正 道
農林技術開発センター 茶 業 研 究 室 主任研究員	宮 田 裕 次
農林技術開発センター 茶 業 研 究 室 主任研究員	野 田 政 之
5．非接触式水分ストレス計の開発	17
機械システム科 科 長	兵 頭 竜 二
電子情報科 科 長	指 方 頭
電子情報科 研 究 員	田 中 博 樹
6．主軸の回転同期による高能率微細加工技術の開発	20
機械システム科 主任研究員	小 楠 進 一
7．機械加工技術の効率化・高精度化のための研究	26
機械システム科 主任研究員	小 楠 進 一

8 . 青果物「酸度」の高精度非破壊分析技術の開発	29
電子情報科 専門研究員	下 村 義 昭
電子情報科 主任研究員	田 尻 健 志
電子情報科 研究員	田 中 博 樹
電子情報科 科 長	指 方 顯
9 . 環境変動に対応した移動システムの開発	33
電子情報科 主任研究員	堀 江 貴 雄
電子情報科 科 長	指 方 顯
協和機電工業株式会社 研究開発部門	グループ長 酒 井 寿 美 雄
協和機電工業株式会社 研究開発部門	上 田 訓 之
マックスコーポレーション株式会社 システム技術開発部	主 任 佐 藤 徳 人
マックスコーポレーション株式会社 システム技術開発部	小 西 準 哉
株式会社九州テン 事業推進課	池 田 廣 一
九州工業大学 名誉教授	安 部 憲 広
九州工業大学情報工学部機械情報工学科	准 教 授 田 中 和 明
10 . 難削性ステンレス鋼の加工面を平滑にする切削加工技術の開発	37
工業材料科 科 長	瀧 内 直 祐
工業材料科 研究員	太 田 泰 平
11 . ハイブリッド DLC 膜合成およびエッチング技術開発と応用化研究	41
次長兼応用技術部長	馬 場 恒 明
長崎大学工学部 助 教	森 村 隆 夫
(独)産業技術総合研究所中部センター	グループリーダー 池 山 雅 美
ファインコーティング(株) 代表取締役社長	古 田 英 司
ダムシュタット工科大学 教 授	W. E n s i n g e r
12 . 植物バイオマスを活用した熱硬化性樹脂の開発	45
工業材料科 主任研究員	市 瀬 英 明
工業材料科 科 長	瀧 内 直 祐
13 . シミュレーション技術を活用した分子構造基盤薬物設計の研究	47
工業材料科 主任研究員	重 光 保 博
14 . 海水魚の閉鎖循環型大規模陸上飼育システムの構築	50
食品・環境科 専門研究員	大 脇 博 樹
総合水産試験場 環境養殖技術開発センター	養 殖 技 術 科 科 長 山 本 純 弘
15 . アコヤ貝真珠層タンパク質を配合したスキンケア商品の開発	52
食品・環境科 専門研究員	晦 日 房 和
長崎大学水産学部 教 授	原 研 治
長崎大学水産学部 教 授	長 富 潔
長崎大学先端生命科学支援センター 教 授	松 田 尚 樹
広島大学薬学部 教 授	杉 山 政 則

県内資源を活用した加工食品の開発 ～長崎県産物由来の植物性乳酸菌及び酵母を活用した加工食品の開発～

食品・環境科	科 長	河 村 俊 哉
食品・環境科	専門研究員	晦 日 房 和
食品・環境科	主任研究員	玉 屋 圭
食品・環境科	研 究 員	松 本 周 三
長崎国際大学 薬学部	教 授	榊 原 隆 三
九州大学大学院 農学研究院	准 教 授	松 井 利 郎
長崎県立大学シーボルト校 看護栄養学部	教 授	田 中 一 成

食品製造企業 5 社

長崎県内産の発酵食品や農産物から植物性乳酸菌を分離し、得られた乳酸菌の食品機能（機能性、保存性、呈味性）を調べることで有用微生物を獲得する。得られた微生物を活用し食品機能を向上させた新規発酵食品の商品化を目指している。今回は、漬物、醤油、味噌製造企業をはじめとした県内の発酵食品製造企業から製品や原料等のサンプル提供を受け、植物性由来の原料から乳酸菌を分離した。さらに、長崎伝統野菜（唐人菜）の漬け込み試験の各製造段階における乳酸菌を獲得した。また、発酵食品の製造に重要な役割を担う酵母も、これらの発酵食品や果実などから分離したので報告する。

1. 緒 言

生活習慣に起因するメタボリックシンドローム等により医療費が増加する中、セルフケアという観点より毎日の食事から健康を維持していくことが重要とされる。食品業界にもその責務が求められ、さまざまな研究、技術開発を行い対応にあたっている。これまでの研究により「プロバイオティクス（腸内の微生物のバランスを改善することにより、人や動物に有益に働く菌体のこと）」等の概念が次第に広まり、古くから食される微生物を利用した発酵食品は特に見直されている。

そのような中で乳酸菌を活用した市場は、植物性乳酸菌を含む飲料を投入したことで、売上高が約1.5倍となった乳酸菌飲料市場をはじめ、乳製品市場、化粧品市場、健康食品市場、さらにはペット市場にまで大きな広がりを見せており、潜在的な市場が存在すると考えられる。また、発酵食品業界では価格競争が厳しいこともあり、乳酸発酵にかかわる微生物資源の探索や、機能性を付加した新しい商品の開発が強く求められているのが現状である。

始めに、機能性成分や良好な呈味・香気成分、抗菌成分を生産する有用な微生物を探索する。そして、これらの微生物を活用し発酵食品の味や香りを改善し、保存性を向上させ、効率的に食品機能の改善、品質の

安定化を図る。また、製品の食味、香り、食感の評価、比較を行うことで差別化し、付加価値の高い商品開発、消費の拡大に繋がる技術支援を目的に本研究を行う。

2. 実験方法

2.1 乳酸菌及び酵母の分離

乳酸菌の分離はMRS培地（OXOID）に炭酸カルシウムを加え、嫌気性培養器、テーパー式アナエロ・ボックスANX 1（株ヒラサワ）で培養後、図2のようにクリアゾーンを形成したものを釣菌した。さらに、グラム染色、検鏡及びカタラーゼ活性の測定を行い、グラム陽性、カタラーゼ活性なしのコロニーを乳酸菌として分離した。¹⁾

また、酵母の分離方法はYM寒天培地（Difco）で培養後、釣菌した菌をYM液体培地で振盪培養した。再度、寒天培地で培養後、グラム染色及び検鏡を行い、酵母と思われる形状の菌を液体培地で振盪培養し、終濃度15%のグリセリンを加え-80℃で凍結保存した。¹⁾

2.2 野菜漬込み試験

企業から提供いただいた長崎伝統野菜（唐人菜）の漬け込み試験は図1に示す方法で行った。

唐人菜30kg
 食塩3.6kg (12%w/w)
 重石40kg
 静置2日
 唐人菜10kg追加
 食塩1.2kg (12%w/w)
 静置2日
 唐人菜10kg追加
 食塩1.2kg (12%w/w)
 静置
 漬けかえ
 (上がってきた水の除去
 漬込み野菜の上下入れ替え
 食塩2.0kg (計16%w/w)
 重石40kg)
 静置
 熟成

図1 唐人菜漬込み試験方法

3. 結果及び考察

発酵食品製造企業よりいただいた漬物、醤油、味噌等のサンプルから、図2のように生育した乳酸菌及び酵母が得られた。また、野菜の漬込み試験から発酵の初期、中期、後期のそれぞれの段階における乳酸菌が得られた。これまでに乳酸菌が計350株、酵母が計120株得られた。

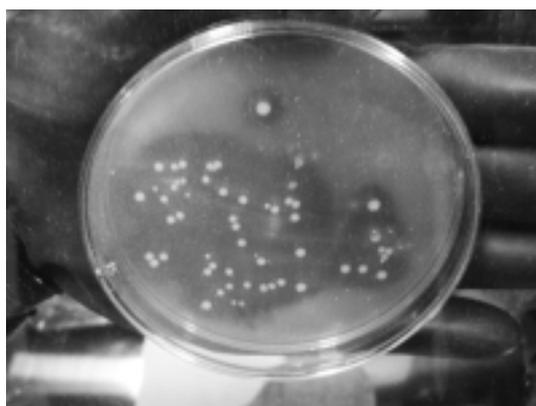


図2 乳酸菌プレート(クリアゾーン形成)

唐人菜の漬込み試験における乳酸菌数とpHの変化を図3に示した。その結果、3週間までは乳酸菌数が増加し、pHが低下した。漬けかえ後に乳酸菌数がさらに増加し、pHも遅れて低下した。pHが一定値より低くなると乳酸菌が急激に減少した。

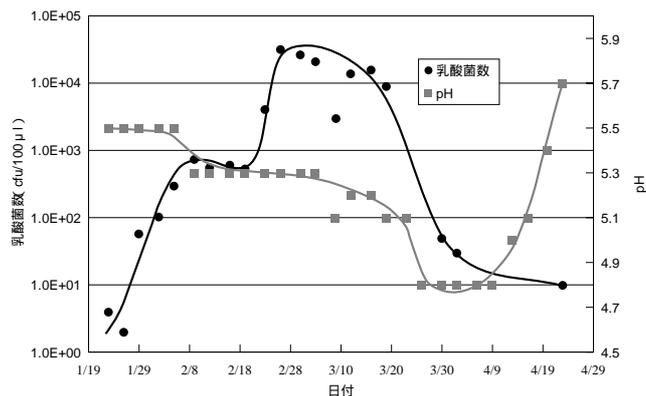


図3 漬込み試験の乳酸菌数とpH変化

4. 結言

本年度の研究で、発酵食品製造企業からいただいたサンプルから乳酸菌及び酵母を獲得できた。また、唐人菜の漬物製造における発酵初期、中期、後期の各段階での乳酸菌も獲得できた。

今後は乳酸菌や酵母の代謝産物について、アミノ酸や有機酸などの呈味成分の分析、抗菌試験とその抗菌物質の探索、抗酸化能などの機能性の解析を行う予定である。

また、共同研究企業の5社とともに試作試験を行うとともに、試作品の成分分析や官能試験を行い、製品化及び商品化へと繋げていく予定である。

5. 謝辞

終わりに臨み、共同研究者であり、乳酸菌や酵母の分離源となるサンプルの提供と漬込み試験の指導をいただいた県内食品製造企業5社の方々、また本研究に関わる一連のご指導、ご協力をいただきました、長崎国際大学薬学部の榊原隆三教授、九州大学大学院農学研究院の松井利郎准教授、長崎県立大学シーボルト校看護栄養学部の田中一成教授を始め関係の方々に深くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 河村俊哉、他：長崎県工業技術センター研究報告 38、50 - 51 (2008)

全自動収穫ロボットシステムの開発

機械システム科	主任研究員	田口喜祥
機械システム科	主任研究員	入江直樹
電子情報科	主任研究員	堀江貴雄
農林技術開発センター 野菜研究室	主任研究員	陣野信博
農林技術開発センター 干拓営農研究部門	専門研究員	片岡正登
京都大学大学院農学研究科	教授	近藤直

アスパラガスは長崎アスパラとしてブランド化を推進中の農作物であり、収益性の高さから栽培面積の拡大が望まれている。しかし、アスパラガスの収穫作業は重労働であり、毎日行う必要があることが、栽培面積の拡大を阻んでいる原因の一つであると考えられている。そこで、工業技術センターでは農林技術開発センターと共同でアスパラガスを自動的に収穫するロボットシステムの開発を連携プロジェクト研究で実施した。このプロジェクト研究では、農林技術開発センターでロボットに適したアスパラガス栽培技術の開発を行い、工業技術センターで収穫ロボットの開発を行った。

本報では、ビニールハウス内で毎日運用することが可能な有索式アスパラガス収穫ロボットと、ロボットが収穫しやすいロボット用圃場から構成される全自動収穫ロボットシステムを試作したので報告する。

1. 緒言

アスパラガスは長崎アスパラとして長崎県がブランド化を推進中の農作物であり、収益性の高さから栽培面積の拡大が望まれている。長崎県で栽培されているアスパラガスは、ハウス雨除けによる半促成長期どり栽培と呼ばれる栽培法で栽培されている。この栽培法は、別名立茎栽培とも呼ばれ、通常の露地栽培と比較して単位面積あたり最大で5倍の収穫量を望める栽培法である^[1]。しかし、収穫作業を中腰姿勢で行う必要があり、過大な労働負担を農業従事者にあたえとの指摘がある。さらに、アスパラガスは毎日収穫する必要がある作物であるため、収穫作業の自動化、機械化、軽労化が強く望まれている。収穫作業を自動化するために、これまでに様々な農作物を対象とした収穫ロボットが提案され、研究開発されているが、アスパラガスを対象とした収穫ロボットは報告されていない^{[2][3]}。

アスパラガスの収穫作業を全自動化するための収穫ロボットシステムを開発する事を目標として平成19年度から平成21年度の3年間研究開発を実施した。平成19年度には、半促成長期どり栽培（以後立茎栽培と呼ぶ）に対応した収穫ロボットを開発するために必要な要素技術であるビニールハウス内で連続運転が可能な移動台車、アスパラガスを把持・切断し収穫作業を行

うロボットマニピュレータ、規定の長さ以上のアスパラガスを認識し位置を計測する認識センサを開発した。平成20年度は、開発した要素技術を組み合わせて、収穫ロボット試作1号機を作成し収穫実験を行った。さらに、より小型で高速な収穫動作が可能な収穫ロボット試作2号機を作成した。平成21年度は収穫ロボット試作2号機での収穫実験および全自動化のための改良を行った。本報告では開発した収穫ロボット試作2号機の構成、ロボット用圃場の概要、収穫実験の結果について報告する。

2. 収穫ロボットシステム

アスパラガスは一般に長さのみにより収穫の可否が決定される。アスパラガスの生長は早いことが知られており、季節によっては1日に10cm以上生長する。規定の長さに満たないものや規定の長さより長すぎるものは商品価値がなくなるため、収穫作業は毎日実施する事が要求される。そのため、開発する収穫ロボットシステムは、毎日動かす必要があるが、電池を動力源として収穫ロボットを動作させると、電池の容量、充電や電池交換の時間などが問題となり毎日長時間駆動させることが難しくなる。そこで本研究では、電源ケーブルドラムをロボットに搭載し、電力ケーブルで電力を供給することにより動作する有索式アスパラガ

ス収穫ロボットシステムを提案する。提案するアスパラガス収穫ロボットのシステムの概要を Fig. 1 に、アスパラガス収穫ロボットの構成を Fig. 2 に、写真を Fig. 3 に示す。有索式アスパラガス収穫ロボットは、電源ケーブルがあるため、ほぼ直線運動のみの動作に制限されてしまう。そこで、ロボットを別の畝に移動させるために、圃場の片側に畝と直角方向に動く移動台車（以下畝間移動台車と呼ぶ）を設置し、広い圃場への対応を行った。有索式収穫ロボットは一つの畝での作業が終了した後、畝間移動台車に乗り移り、

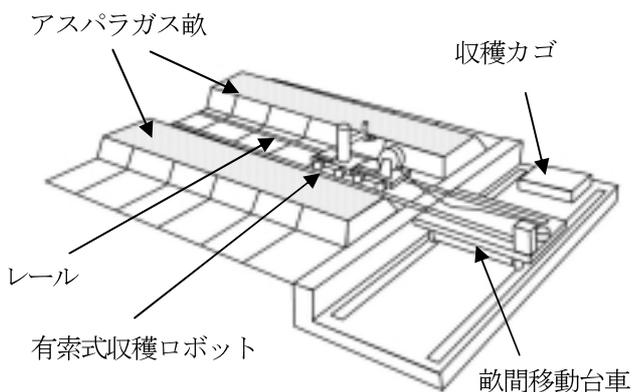


Fig. 1 収穫ロボットシステムの概要

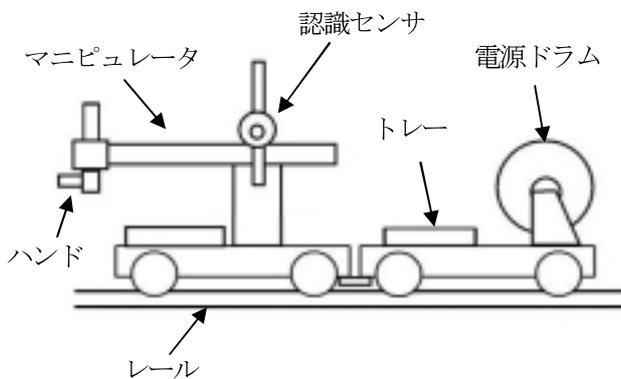


Fig. 2 アスパラガス収穫ロボットの構成

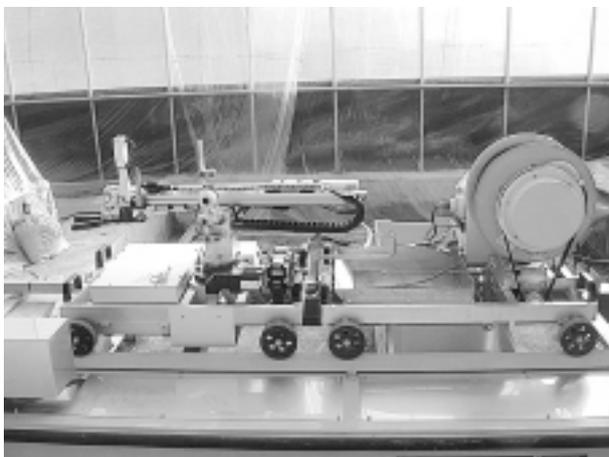


Fig. 3 アスパラガス収穫ロボットシステムの写真

別の畝に移動し収穫作業を続けることができる。

試作した収穫ロボットは、人手による運搬を考慮してマニピュレータと認識センサを搭載する収穫台車と電ドラムと収穫用トレーを搭載する電源台車に分離可能である。また、将来的には、収穫台車を農薬散布用の台車に取り替えて防除作業を行うことも可能である。

試作した収穫ロボットおよび畝間移動台車の制御装置構成を Fig. 4 に示す。収穫ロボット及び畝間移動台車は FA 用コンピュータを中核とした制御装置で動作する。収穫ロボットの FA 用コンピュータではアスパラガス認識センサの信号処理を行い、アスパラガスの長さや位置の計測を行う。また、アスパラガスの位置情報を基に、収穫用マニピュレータの各モータの目標角度の計算を行い、算出されたモータ角度情報を、ワンチップコンピュータ（Cypress PSOC29466 × 2）に送る。ワンチップコンピュータでは送られてきた角度情報に基づき各モータへ指令値を送信することで、収穫ロボットの制御を行う。収穫ロボットを制御する FA 用コンピュータと畝間移動台車を制御する FA 用コンピュータは互いに無線 LAN で通信を行うことで、畝間移動台車への乗り移りや別の畝への移動が可能となる。

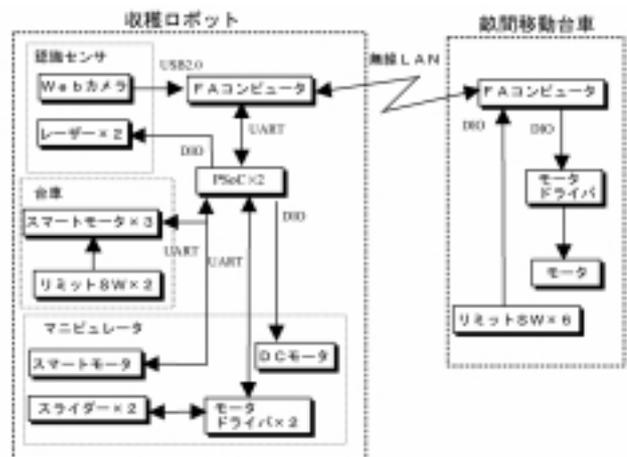


Fig. 4 収穫ロボット制御装置

なお、FA 用コンピュータの制御プログラムは Microsoft 製 VisualStudio2005 で開発を行った。以下ではアスパラガスを認識する認識センサとアスパラガスを収穫するマニピュレータについて述べる。

2.1 認識センサ

アスパラガスが長さのみにより収穫可能であるかの判断が行われることに着目した認識センサを開発した。開発した認識センサの概要を Fig. 5 に写真を Fig. 6

に示す。認識センサは2台のレーザ投光器とカメラで構成されている。2台のレーザ投光器は、アスパラガスを収穫対象であると判断する長さと同しい間隔を空けて設置されている。

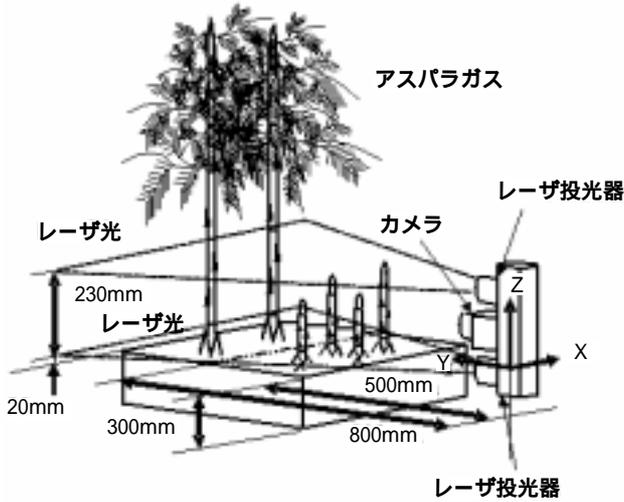


Fig. 5 認識センサの概要

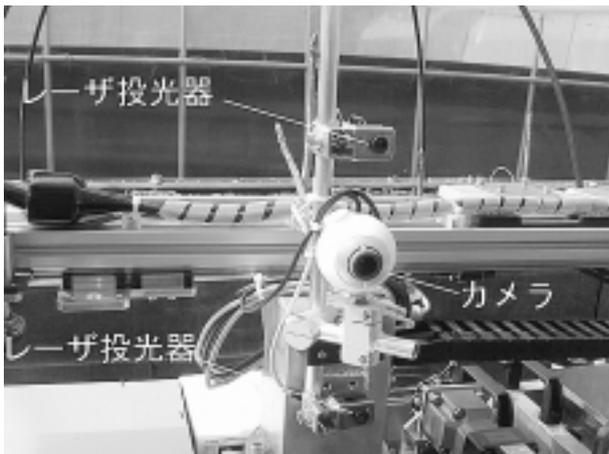


Fig. 6 認識センサの写真

それぞれのレーザ投光器からレーザスリット光を地面に対し平行に投射すると、収穫可能な長さ以上に生長したアスパラガスからは上下2本の反射光が観測できる。そこで、事前にそれぞれのレーザスリット光が投影される3次元座標とテレビカメラの座標（以下ラスタ座標と呼ぶ）を光切断法の原理に基づいて校正（キャリブレーション）しておけば、スリットレーザ光が当たっている場所の3次元座標を計測できる。その後、上下のレーザスリット光から得られた3次元座標の対応付けを行うことで規定の長さ以上に生長したアスパラガスの認識と位置計測を行う。校正は一定間隔で縦線が記してあるプレート（図5参照）を計測することで実施した。最初に、プレートをカメラから500mm隔てた箇所に設置する。ラスタ座標 (u_i, v_i) は、スリット

光と縦線の第 i 番目の交点である。ラスタ座標 (u_i, v_i) とその座標に対応する3次元座標 $(x_i, 500, z_0)$ を求める。その後、プレートとカメラの距離を変え（本研究では、500mm~1000mm）、ラスタ座標 (u, v) と対応する3次元座標 (x, y, z_0) を求める。次に、このとき計測した座標データとスリットレーザ光の反射光を計測したラスタ座標から3次元位置を算出する計算式を求める。スリット光を $z = z_0$ の平面に投射した場合、3次元座標 (x, y, z_0) とこの座標に対応するカメラ上のラスタ座標 (u, v) の関係は、透視変換の式を用いて式(1)で表される^[4]。

$$\lambda \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} & b_{13} \\ b_{21} & b_{22} & b_{23} \\ b_{31} & b_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

スリット光平面上では上記関係は成り立つので、 n 点選択した際の3次元座標 (x_i, y_i, z_0) と (u_i, v_i) ($i = 1, 2, \dots, n$) の関係は式(2)で表される。

$$Th = w \quad \dots (2)$$

ここで、各パラメータは以下で表される。

$$T = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1 \cdot u_1 & -y_1 \cdot u_1 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1 \cdot v_1 & -y_1 \cdot v_1 \\ x_2 & y_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_2 \cdot u_2 & -y_2 \cdot u_2 \\ 0 & 0 & 0 & x_2 & y_2 & 1 & -x_2 \cdot v_2 & -y_2 \cdot v_2 \\ \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & x_n & y_n & 1 & -x_n \cdot v_n & -y_n \cdot v_n \end{bmatrix}$$

$$h = \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{12} \\ b_{13} \\ \vdots \\ b_{32} \end{bmatrix}, \quad w = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ u_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}$$

行列 T とベクトル w は、キャリブレーションで測定した値で作成できる。4点以上の測定点のデータを用いると、疑似逆行列を持ちいて、ベクトル h は式(3)で求められる。

$$h = (TT)^{-1}Tw \quad \dots (3)$$

ベクトル h が求められれば、式(1)を変形した式(4)を用いて、それぞれのラスタ座標に対応する3次元座標を計算することができる。

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_{31} \cdot u - b_{11} & b_{32} \cdot u - b_{12} \\ b_{31} \cdot v - b_{21} & b_{32} \cdot v - b_{22} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} b_{13} - u \\ b_{23} - v \end{bmatrix} \quad \dots (4)$$

アスパラガス認識装置の有効性を確認するために圃場において認識実験を行った。認識センサは外乱光の影響を避けるために日没のみで使用する。対象としたアスパラガスの写真を Fig .7 に、認識結果を Fig .8 に示す。本実験では、収穫可能なアスパラガスは 5 のみと認識された。2 は規定の長さには達しておらず、1、3 と 4 は、ロボットの収穫可能範囲を超えているため収穫可能であると認識されなかった。なお、認識センサの計測精度は± 2 mm 以内であった。

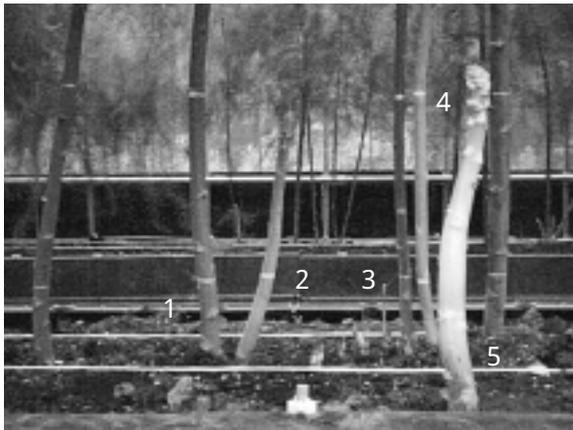


Fig .7 アスパラガス認識実験

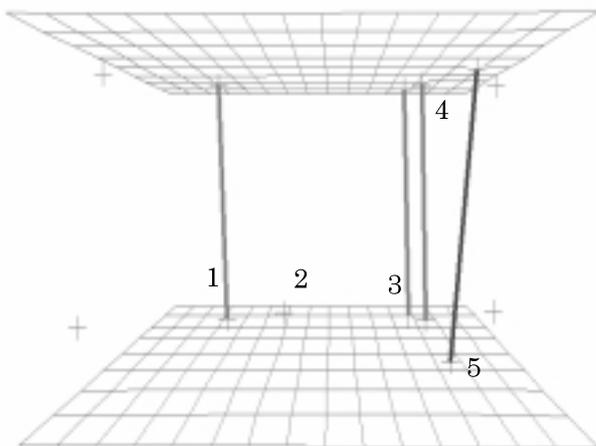


Fig .8 アスパラガス認識結果

2.2 収穫用マニピュレータ

収穫対象でないアスパラガスの間を通り抜けて収穫対象のアスパラガスに接近するため、並進可動距離が大きく取れる円筒座標型マニピュレータを試作した。試作した収穫用マニピュレータの写真を Fig .9 に示す。このマニピュレータは回転 1 自由度、並進 2 自由度の合計 3 自由度を有している。また、先端にはアスパラガスを把持・切断するために回転 1 自由度を持ったロボットハンドが搭載されている。マニピュレータの回転軸は 360 度回転することが可能となっており、

両側の畝の収穫及び収穫したアスパラガスを収穫ロボットに設置されたトレーに入れることが可能である。



Fig 9 収穫用マニピュレータ写真

マニピュレータ先端に取り付けられるアスパラガスを把持・切断するハンド部の写真を Fig .10 に示す。ハンド部にはベルトとカッターが取り付けられており、把持動作と切断動作を同時に行うことができる。この機構の採用により、把持切断作業を 0.4 秒と高速に実施可能となった。

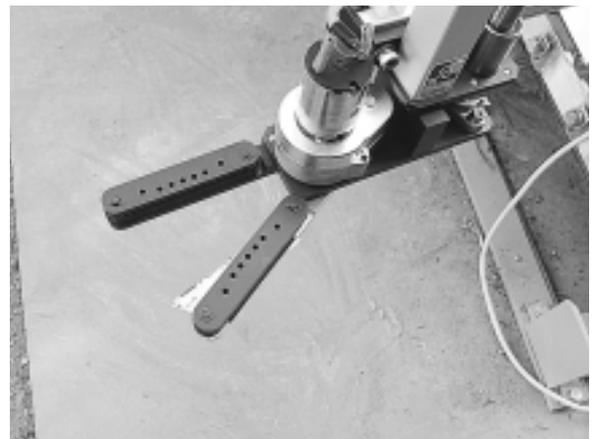


Fig .10 収穫ハンド写真

3. 収穫ロボット用栽培技術

立茎栽培では春芽を収穫した後立茎作業を行う。立茎栽培での立茎場所を示すため、畝を上から見たイメージ図を Fig .11 に、立茎した圃場の写真を Fig .12

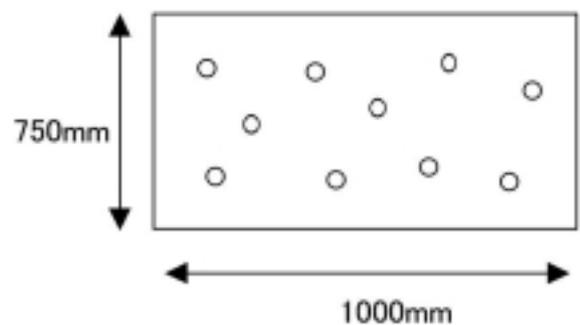


Fig .11 立茎場所イメージ図 (従来型栽培)

に示す。通常の立茎栽培では単位面積あたりの収量増加を目的とし、隣り合う茎の距離が均一になるよう立茎を行う。この栽培方法は土地の面積を有効に利用するという点では優れているが、収穫を行う場合立茎した茎を除けて若芽を探し出し収穫を行う必要があるため、ロボットでの収穫作業を難しくする要因の一つとなっている。

そこで、収穫ロボットを利用することを前提として、立茎を畝の中心部の250mmの範囲のみで行うロボット用栽培を提案する。ロボット用栽培では、畝の中心



Fig .12 アスパラガス圃場（従来型栽培）

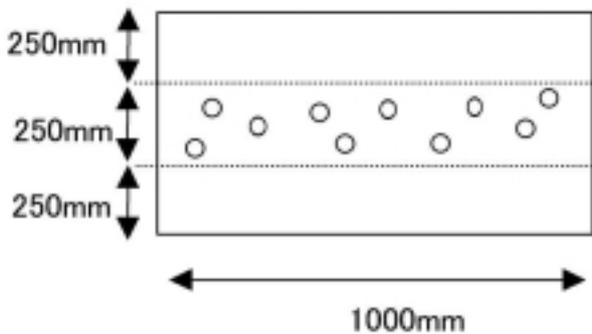


Fig .13 立茎イメージ図（ロボット用栽培）



Fig .14 アスパラガス圃場（ロボット用栽培）

部のみで立茎を行い、畝の端部からの萌芽を促す。畝の端部から萌芽したアスパラガスは全て収穫対象となる。提案した栽培をする場合の立茎場所イメージ図を Fig .13に、圃場の写真を Fig .14に示す。また、ロボットが取りやすい高さでアスパラガスを栽培するため、プラスチック板で畝を覆い、高さ300mmの高畝栽培とした。

4 . 収穫実験

開発したアスパラガス収穫ロボットシステムを用いて収穫実験を行った。ロボット用圃場のアスパラガスは2年目であり、収穫対象範囲に萌芽するアスパラガスは非常に少ないため、収穫対象範囲にアスパラガスを植えて実験を行った。実験中の写真を Fig .15及び Fig .16に示す。

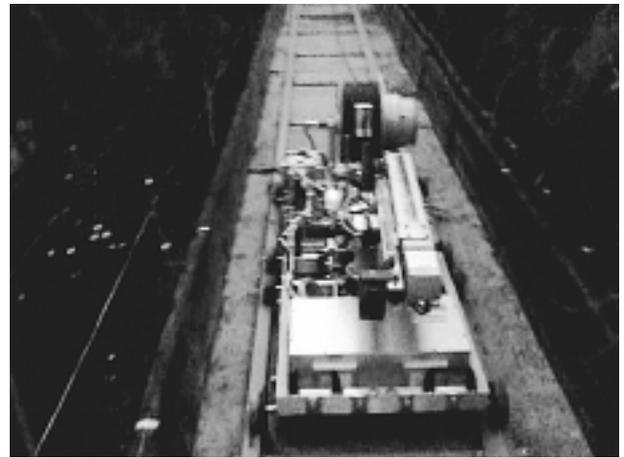


Fig .15 アスパラガス収穫実験（計測中）



Fig .16 アスパラガス収穫実験（収穫中）

Fig .15はアスパラガス認識センサによりアスパラガスを認識中の写真であり、Fig .16は認識した収穫対象のアスパラガスを把持・切断している写真である。なお、外乱光の影響をさけるために日没後に収穫実験を行った。収穫作業は認識センサの視野角の関係から、

収穫ロボットが180mm 移動するごとにアスパラガスを計測し収穫を行った。1回の計測で収穫可能なアスパラガスが1本あったときに動作に要した時間をTable .1 に示す。

Table .1 収穫動作時間分析

収穫動作	時間 [秒]
ロボット移動 (180mm)	3.0
アスパラガス認識	1.0
マニピュレータ回転	1.2
マニピュレータ伸張	0.7
把持切断	0.4
マニピュレータ伸縮	0.7
マニピュレータ回転	0.9
ハンド開放	0.6
全時間	8.5

1本当たりで要した収穫時間は、開発の目標としていた人間が1日に収穫する本数2,000本の3倍である6,000本を18時間で収穫するために必要な時間10.8秒より短い事を確認した。1本当たり8.5秒という収穫速度で6,000本を収穫すると仮定すると計算上は14時間10分必要となる。なお、同様な収穫実験を5回実施したところアスパラガスを収穫できた確率は84.6%であった。

5. 考察

今回の実験では収穫したアスパラガスをトレイに入れるときに穂先の方向が揃わないという問題点が明らかとなった。そこで、穂先方向をそろえる動作を追加したところアスパラガス1本当たり12.4秒の時間を要した。これは、ハンド部を75mm動かすだけで3.0秒かかっているためであったので、アクチュエータを変更してアーム回転中に上下動作が終了できれば、穂先方向をそろえてもアスパラガス1本当たり9.4秒で収穫可能になると考えられる。また、今回開発した収穫ロボットは認識センサの関係で日没後のみの使用に限定される。しかし、6,000本のアスパラガスを日没後の夜間のみで収穫する事は時間的に難しいため、レーザーセンサを用いた認識センサを開発しており^[5]、昼夜駆動可能な収穫ロボットとすることで1日に6,000本を収穫することが可能になると考えられる。

6. 結言

アスパラガスを対象とした有索式収穫ロボットと、ロボットで収穫する事を考慮したロボット用圃場から

構成される全自動収穫ロボットシステムの試作を行った。試作した収穫ロボットシステムで収穫実験を行ったところ、アスパラガスを1本当たり8.5秒で収穫可能であった。このとき、収穫できた確率は84.6%であった。今後は、昼夜兼用センサーによる収穫実験やロボット用圃場におけるアスパラガスの生産性が高くなる3年生以降の収量・品質調査など残された課題解決を図りながら実用化を目指して開発したシステムの実証実験を行っていきたい。

文 献

- [1] 井上：半促成長期どりアスパラガスの養分動態，長崎県総合農林試験場研究報告，農林部門23号 p 31 - , 45 (1998 - 3)
- [2] 近藤，門田，野口：農業ロボット (I) - 基礎と理論 - ，コロナ社，(2004 - 9)
- [3] 近藤，門田，野口：農業ロボット (II) - 機構と実例 - ，コロナ社，(2006 - 6)
- [4] 石松，田口，落合，大幡：三次元形状計測の高速化の一手法，JSME(C)，pp .1969 - 1973 (1991 - 6)
- [5] 椎木，近藤，田口，清水：アスパラガス検出のためのステレオビジョンとレーザーレンジファインダの比較，JSME, ROBOMECH 2009, 1 A 2-C 06, (2009 - 5)

イカ肉の高度有効利用に関する研究

食品・環境科 主任研究員 玉屋 圭
総合水産試験場 水産加工開発指導センター 主任研究員 桑原 浩一

イカ肉の未利用部分（脚、ひれ部分）の高度有効利用を目的として、酵素分解エキスの製造法確立を試みた。至適 pH の異なる市販酵素 5 種から選定したアルカリプロテアーゼを用いて、酵素分解エキスを調製し、イカタンパク質の分解率を評価した。酵素濃度及び反応時間を検討した結果、0.5wt%、5 時間で製造されたエキスが最も高い分解率を示した。さらに、アンジオテンシン I 変換酵素阻害性を評価した結果、0.18mg/ml と高い活性が得られた。

1. 緒言

蒲鉾や竹輪などのねり製品の製造には、主にスケトウダラなどの魚肉を原料とする冷凍すり身が使用されている。本県の総合水産試験場では、イカ肉のみを原料として、ねり製品を製造する技術を開発した。

本研究では、イカすり身の練り製品を製品化することを目的として、冷凍イカすり身の製造技術並びに長期保存技術の開発を行う。また、イカすり身の有する健康機能性を、実験動物を用いて *in vivo* レベルで検証する。工業技術センターでは、すり身加工時に排出される脚肉や鰭肉等の利用法として、これら素材を原料とした酵素分解エキスの製造法を検討し、調味料の開発を実施する。

2. 実験方法

① 試料調製

試験には市販の生スルメイカを用いた。イカ肉の処理法は以下のものである。胴肉を切り開いた後に、内臓を除去し、胴肉部と脚、ひれ部分を得た。これら水洗した後に、水切りし、酵素分解に供した。

② 酵素分解法

イカ肉の酵素分解は松井らの方法¹⁾に準じて実施した。イカ肉（胴肉部、脚、ひれ）重量に対して10倍量の脱イオン水を添加し、ホモジナイザーにより処理（3,500rpm、3 分間）を行った。次に、各種プロテアーゼの至適 pH に調整して、イカ肉重量に対して 1%wt のプロテアーゼを添加した。1 分間攪拌した後に、各酵素の至適温度（45、50、60℃）で 5 時間インキュベーションを行った。pH を 7.0 に調整し、98℃で 15 分間加熱処理を行い、酵素を失活させた。遠心処理

（10,000rpm、15 分間）を行い、得られた上清をろ過（No.5C）し、酵素分解液を得た。

③ 酵素分解エキスの窒素量測定

イカ肉エキスの窒素量はケルダール法²⁾により実施した。

④ 平均ペプチド鎖長の測定

平均ペプチド鎖長は TNBS（2, 4, 6 - トリニトロベンゼンスルホン酸法³⁾により測定した。酸加水分解前後の試料 25μl（6 mg/ml）に対して、0.1M TNBS 溶液 25μl を添加し、37℃で 20 分間反応させた。次いで、分光光度計により 416nm での吸光度を測定した。加水分解前の吸光度を Ab、分解後の吸光度を Aa としたときの Aa/Ab の比を平均ペプチド鎖長とした。なお、酸加水分解は 1%フェノールを含む 6M 塩酸を用いて 150℃、3 時間反応を行った。

⑤ 酵素濃度の検討

イカ肉重量に対して 0.1、0.3、0.5、1%wt のプロテアーゼを添加した。1 分間攪拌した後に、本酵素の至適温度（50℃）で 5 時間インキュベーションを行った。pH を 7.0 に調整し、98℃で 15 分間加熱処理を行い、酵素を失活させた。遠心処理（10,000rpm、15 分間）を行い、得られた上清をろ過（No.5C）し、酵素分解液を得た。酵素分解エキスのエキス量及びホルモール窒素量を測定することにより、イカタンパク質の分解に適した酵素濃度を決定した。なお、イカ肉エキスのホルモール窒素量はホルモール法⁴⁾により測定した。

⑥ 反応時間の検討

イカ肉に対して0.5%wtのプロテアーゼを添加し、50℃で3、5、10、15、24時間インキュベートを行った。酵素を失活させた後、遠心処理、ろ過を行い、酵素分解液を得た。酵素分解エキスのエキス量及びホルモール窒素量を測定することにより、イカタンパク質の分解に適した反応時間を決定した。

⑦ 酵素分解エキスのACE阻害性の測定

イカ肉酵素分解エキスのACE阻害性の測定については、松井らの方法¹⁾に従って行った。測定サンプル50μlに対して、ACE(0.025U/ml、ウサギ肺由来、シグマ製)100μlを添加し、37℃、5分間プレインキュベートした。その後、ACEの疑似基質Hip-His-Leu 12.5mM溶液を100μlを加え、37℃で60分間反応を行った。0.5M塩酸250μlを添加し、反応を終了させた後に、酢酸エチル1.5mlを添加し、ボルテックスで撹拌した。遠心処理(2500rpm、10分間)に供し、上層部の酢酸エチル相0.5mlを試験管に分取した。酢酸エチルを真空遠心機により完全に除去した後に、1.0M NaCl溶液1.0mlを添加し、よく撹拌させた。生成した馬尿酸を溶解させた後、分光光度計を用いて228nmで吸光度を測定した。ACE阻害活性はサンプル溶液の吸光度をAS、サンプルの代わりに水を加えた時の吸光度をAC、水にあらかじめ反応停止液(0.5M塩酸)を加えて反応させた時の吸光度をABとして以下の式からACE阻害率を求めた。

$$\text{阻害率}(\%) = \{ (AC - AS) / (AC - AB) \} \times 100$$

なお、阻害率が50%を示した時の酵素反応時のサンプル濃度をIC₅₀値と定義し、ACE阻害活性の尺度とした。

⑧ 酵素分解エキスの遊離アミノ酸分析

イカ肉の酵素分解エキスに含まれる遊離アミノ酸の測定は鈴木の方法⁵⁾に従って行った。エキスの乾燥物100mgを超純水3mlに溶解した後に、エタノール9mlを添加し、1時間抽出した。ろ過後に、75%エタノールを加え、20mlに定容した。試料溶液を減圧濃縮に供した後に、試料希釈液10mlに溶解し、0.45μmのフィルターでろ過した。アミノ酸分析は日本電子製全自動アミノ酸分析装置JLC500により行った。

3. 実験結果

① 市販酵素によるイカ肉の分解エキスの製造

至適pHの異なる(pH4.5、7.0、8.0、10.0)市販酵素5種類を用いて、イカ肉の酵素分解エキスを調製

した。

表1. イカ酵素分解エキス製造に使用した酵素剤

供試 酵素名	pH	温度 (℃)	由来
酵素A	4.5	50	<i>Aspergillus oryzae</i>
酵素B	7.0	50	<i>Aspergillus oryzae</i>
酵素C	8.0	45	<i>Aspergillus mellus</i>
酵素D	10.0	50	<i>Bacillus licheniformis</i>
酵素E	10.0	60	<i>Bacillus subtilis</i>

まず、各酵素による水溶性エキスの生成量を確認したところ、至適pHを酸性側に有する酵素Aが最も高い値を示した。また、エキスを凍結乾燥に供して、乾燥粉末を調製し、その重量を測定した。その結果、粉末量に全く差異は無かったが、用いた原料に対する重量比を算出したところ、酵素Aが最も高い重量比を示した。

表2. イカ酵素分解エキスの製造特性

供試 酵素名	エキス量 (ml)	乾燥粉末 (g)	重量比 (%)
酵素A	35.7	2.0	19.1
酵素B	25.3	2.0	17.8
酵素C	28.8	2.0	18.5
酵素D	28.2	2.1	18.6
酵素E	27.5	1.9	17.2

次に、各酵素のイカタンパク質に関する分解挙動を確認するために、エキス乾燥粉末に含まれる窒素量をケルダール法により測定した。その結果、どの酵素剤に関しても同程度の窒素量を示したが、特に酵素Dが高い含量を示した。また、タンパク質から分解生成した低分子ペプチドを測定するために、平均ペプチド鎖長を測定した。この値が小さいほど、イカタンパク質がプロテアーゼにより分解され、ペプチドやアミノ酸に低分子化されていることになる。各種酵素剤によ

表3. イカタンパク質の分解特性

供試 酵素名	窒素量 (乾燥粉末 あたりの%)	平均 ペプチド 鎖長
酵素A	11.8	3.8
酵素B	12.9	3.5
酵素C	12.6	4.1
酵素D	13.7	2.5
酵素E	12.8	4.7

るエキスを測定に供した結果、4種の酵素（A、B、C、E）が3～5といった値であったのに対して、酵素Dのみが2.54と低い値を示し、タンパク質をより低分子化していることが予想された。

さらに、イカ酵素分解エキスの高付加価値化を目的として、ACE阻害活性測定を実施した。ACEは、肺や血管壁に存在する酵素であり、アンジオテンシンⅠを強力な昇圧ペプチドであるアンジオテンシンⅡに変換する反応を触媒する。従って、このACEを特異的に阻害する物質が本酵素分解エキに含まれているならば、高血圧発症を予防できる食品素材となりうるということが考えられる。

表4．イカ酵素分解エキスのACE阻害性

供試酵素名	IC ₅₀ (mg-protein/ml)
酵素A	0.54
酵素B	0.52
酵素C	0.48
酵素D	0.44
酵素E	0.35

表4に示すように、どの分解物もACE阻害性を示したが、特に至適pHを塩基性側に有する酵素D及びEが高いACE阻害性を示した。その値は0.44並びに0.35mg-protein/mlであった。

松井らはイワシ筋肉をアルカリプロテアーゼによる分解に供し、酵素分解物が高いACE阻害性（0.26mg-protein/ml）を有することを示している¹⁾⁵⁾。さらに、分解物やそこに含まれるジペプチドVal-Tyrが*in vivo*で血圧低下作用を示すことが明らかになっている⁶⁾。従って、今回検討したイカエキスは、IC₅₀が0.35と高活性値を有しており、生体レベルで血圧低下作用を示す可能性を示していた。

以上の検討により、イカ肉の酵素分解エキスの製造には至適pHを塩基性側に有する酵素が適していると考えられた。以後の検討には本酵素を使用することとした。

② 酵素濃度のイカ肉分解に及ぼす影響

酵素濃度を0.1、0.3、0.5、1.0%に設定して、イカ肉酵素分解エキスを調製した。まず、水溶性エキスの生成量を確認したところ、酵素濃度が増加するほどエキス生成量は増大していた。しかしながら、その増大は0.5%で一定（18.6%）となり、1.0%では大きな増大は認められなかった。

表5．酵素濃度のエキス製造に及ぼす影響

酵素濃度（%）	エキス化率（%）
0	7.2
0.1	15.9
0.3	18.1
0.5	18.6
1.0	19.5

次に、酵素濃度のイカ肉タンパク質の分解に及ぼす影響を確認するために、エキスに含まれるアミノ態窒素（ホルモール窒素）量を測定した。その結果、酵素濃度が増加するに従って、ホルモール窒素量は増大していたが、0.5%で一定（2.72%）に達していた。この結果から、イカ肉タンパク質が酵素作用により分解され、アミノ酸やペプチドなどに低分子化されていることが示唆された。

表6．酵素濃度のイカ肉タンパク質の分解に及ぼす影響

酵素濃度（%）	ホルモール窒素量（乾燥粉末あたりの%）
0	2.28
0.1	2.57
0.3	2.60
0.5	2.72
1.0	2.60

次に、酵素濃度がエキスのACE阻害性に及ぼす影響を検討した。

表7．酵素濃度のACE阻害性に及ぼす影響

酵素濃度（%）	IC ₅₀ （mg/ml）
0	3.51
0.1	0.41
0.3	0.36
0.5	0.25
1.0	0.23

表7に示すように、酵素濃度の増加に伴ってACE阻害性は増大する傾向にあり、特に0.5%濃度で活性は最大（0.25mg/ml）に達していた。以上の結果から、イカタンパク質の分解程度、ACE阻害性を考慮すると、本酵素分解エキに用いる最適な酵素濃度は0.5%と考えられた。

③ 反応時間のイカ肉分解に及ぼす影響

さらに、酵素分解を行う反応条件を決定するために、反応時間に関する検討を行った。時間は3、5、10、

15、20、24時間に設定し、酵素濃度は上記の検討で決定した0.5%で実施した。

表8．反応時間のエキス製造に及ぼす影響

反応時間 (h)	エキス化率 (%)
0	5.2
3	19.3
5	20.8
10	23.6
15	21.7
20	22.2
24	22.7

まず、反応時間のエキス化率に及ぼす影響を検討した結果、時間延長に伴って増大する傾向にあり、10時間(23.6%)で最大に達していた。

表9．反応時間のイカ肉タンパク質分解に及ぼす影響

反応時間 (h)	ホルモール窒素量 (乾燥粉末あたりの%)
0	2.34
3	2.56
5	2.86
10	2.78
15	3.03
20	2.97
24	3.00

次いで、ホルモール窒素量を測定し、タンパク質の分解性を検討したところ、5時間でほぼ一定の値(2.86%)に達しており、10時間以降は大きな増加は認められなかった。この結果から、5時間の時点でタンパク質が分解されて、呈味性及び機能性を有するアミノ酸やペプチドが生成されていることが示された。

表10．反応時間のACE阻害性に及ぼす影響

反応時間 (h)	IC ₅₀ (mg/ml)
0	3.30
3	0.21
5	0.18
10	0.21
15	0.24
20	0.25
24	0.24

上記の検討と同様に、反応時間のACE阻害性に及ぼす影響を検討した。反応時間の進行と共に、阻害性

は増大していたが、5時間で最大(0.18mg/ml)に達していた。

以上の検討により、イカ肉酵素分解の最適反応時間は、タンパク質分解並びにACE阻害性を考慮して5時間であることが判明した。

本酵素分解エキスの反応条件については、酵素濃度0.5%、反応時間5時間を採用することとした。

表11．イカ肉酵素分解エキスに含まれる遊離アミノ酸

	% (エキス乾燥粉末あたり)
Tau	11.6
Asp	1.9
Thr	0.8
Ser	0.7
Glu	4.3
Gly	0.7
Ala	2.6
Met	1.5
Ile	1.2
Leu	2.9
Tyr	2.1
Phe	2.3
His	2.3
Ans	1.2
Car	1.8
Arg	4.2
Pro	4.9

イカエキスに含まれる遊離アミノ酸を分析した結果、最も高い含量を示したのはタウリンであり、次いでプロリン、グルタミン酸、アルギニンであった。タウリンはコウイカ、ヤリイカ、スルメイカなどのイカ類⁷⁾に多く含まれており、生イカ肉に含まれる成分がそのままエキスに移行していた。また、旨味成分であるグルタミン酸、アスパラギン酸⁸⁾も4.3%、1.9%と高含有であり、エキス自体の味が良好であることが推察された。近年、いくつかの健康機能が報告されているカルノシン、アンセリンも含まれており、本研究で検討した血圧低下作用以外の機能を有する可能性が示唆された。

まとめ

本研究では、イカ肉を原料とした調味料を開発することを目的として、酵素分解エキスの製造を試みた。

呈味性を有するアミノ酸、ペプチドを豊富に含有するエキスを製造するために、食品工業用酵素を用いて

イカタンパク質の分解を試みた。至適 pH が塩基性側にある市販酵素を用いた際の酵素分解条件（酵素濃度、反応時間）を水溶性エキスの製造量、エキス中の窒素量、ACE 阻害性を測定することにより検討した。その結果、酵素濃度としては0.5%、反応時間は5時間が最適であることを確認した。また、酵素分解エキスに含まれる遊離アミノ酸を測定した結果、呈味性や機能性を有するものが多く含まれていた。今後は、調味料の製品化を目指して、製造現場でのスケールアップ試験などを実施していく予定である。

本研究は長崎県試験研究機関連携プロジェクトとして、長崎県工業技術センター、長崎県総合水産試験場（中核機関）、水産総合研究センター中央水産研究所、長崎蒲鉾水産加工業協同組合が参画して平成19年度から3年間研究推進を行った。

参考文献

- 1) T. Matsui, H. Matsuifuji, E. Seki, K. Osajima, M. Nakashima, Y. Osajima: Biosci. Biotech. BioChem., 57(6), 922-925(1993)
- 2) 東京大学農芸化学教室編：実験農芸化学上巻，116（1967）
- 3) 中村通ら：日本食品科学工学会、38、377 - 383（1991）
- 4) 財団法人日本醤油研究所編：しょうゆ試験法、19 - 21（1985）
- 5) 日本食品科学工学会編：新・食品分析法、501 - 504（1996）
- 6) H. Matsui, T. Matsui, E. Seki, K. Osajima, M. Nakashima, Y. Osajima: Biosci. Biotech. BioChem., 58(12), 2244-2245(1994)
- 7) 坂口守彦編：魚介類のエキス成分；無脊椎動物の含窒素化合物、9 - 24（1988）
- 8) 網野裕右：分子構造と味覚、食品と容器、43(4)、208（2002）
- 9) 柳内延也、塩谷茂信、水野雅之、鍋谷浩志、中嶋光敏：チキンエキス由来アンセリン - カルノシン混合体の抗酸化活性：植物由来抗酸化物質との比較、日本食品科学工学会誌51(5)、238 - 246（2004）

本県特産緑茶・ピワ葉を原料とした高機能性茶葉の開発

食品・環境科	主任研究員	玉屋	圭	
食品・環境科	研究員	前田	正道	
農林技術開発センター	茶業研究室	主任研究員	宮田	裕次
農林技術開発センター	茶業研究室	主任研究員	野田	政之

長崎県産の未利用資源であるピワ葉と緑茶番茶を原料とした発酵茶の製造方法を確立した¹⁾²⁾。これまでに、官能試験を行った結果、本発酵茶は渋味が少なく、爽快で飲みやすい茶であることが示されている。そこで本研究では、味認識装置を用いて発酵茶の味測定を実施し、その特徴の解明を試みた。

1. 緒言

近年、食生活の欧米化とともに、がん、循環器系疾患、アレルギー等の生活習慣病が若年から老年層にわたって増大している。それに伴って、機能性食品の売り上げが年々増加（特定保健用食品の市場規模（2009年）；5494億円（日本健康・栄養食品協会調べ））している。今後の高齢化の進展や医療費の増大等を考慮すると、この分野は更なる成長を遂げると予想されることから、疾病リスクを軽減する機能性食品の開発は新事業の創出及び育成に繋がると考えられる。

一方、長崎県の園芸特産品であるお茶は近年の輸入茶の増大により、番茶の価格が低下している。同じく園芸特産品であるピワも競争果実の多様化の影響を受けていることから、葉などの未利用部分を用いた新たな製品開発が急務とされている。

そこで我々は、本県産の未利用資源である緑茶とピワ葉を利用した発酵茶の製造法を確立した¹⁾²⁾。

これまでの研究により、本発酵茶が血糖値上昇抑制³⁾⁴⁾並びに中性脂肪低下作用⁵⁾⁶⁾を *in vivo* レベルで発現することを明らかにしている。

しかしながら、本発酵茶が機能性食品として日常的に摂取されるためには、茶飲料としての美味しさを担保する必要がある。

そこで本研究では、発酵茶の味に関する特徴を明らかにすることを目的として、味認識装置による測定を実施し、緑茶との比較を行った。

2. 実験方法

発酵茶は最も高い香味が得られた条件²⁾（緑茶番茶とピワ葉の混合比9：1で製造したもの）を使用した。なお、発酵茶の原料である緑茶は7月採取された三番

茶を使用した。同じく発酵茶の原料であるピワ葉も7月に採取されたものを使用した。

比較対象としては緑茶を用い、サンプルとして5月に採取された一番茶、7月に採取された三番茶を用いた。

① 茶熱水抽出エキスの調製

発酵茶葉2gを熱水100ml中で5分間攪拌し、ろ過によりエキスを調製した。味測定には本エキスを10倍希釈したものを用いた。比較対象の緑茶についてもエキスを同様に調製し、測定に供した。

② 味測定

発酵茶の味測定にはインテリジェントセンサーテクノロジ製の味認識装置 TS 5000Z を用いた。酸味、旨味、塩味、苦味、渋味、旨味後味、苦味後味、渋味後味の8種の味を測定した。

③ アミノ酸分析

アミノ酸の測定は中村らの報告⁷⁾に準じて行った。茶葉100mgを100mlのメスフラスコにとり、熱湯70mlを加えて80℃の恒温槽中で30分間加温抽出した。室温に冷却後、100mlに定容した。0.45μmのメンブランフィルターでろ過後、50μlを全自動アミノ酸分析装置（日本電子製）に供した。

3. 実験結果

① 発酵茶の味について

発酵茶の味測定の結果を表1に示す。酸味、塩味、苦味後味については、測定値が原点（0、酸味；-13、塩味；-6）以下のものであったことから、発酵茶はこれら味を示さないと判断された。

表1 発酵茶の味測定結果

	苦味	渋味	旨味	渋味 後味	旨味 後味
一番茶	11.1±0.0	18.3±0.0	10.5±0.0	3.1±0.0	1.3±0.0
三番茶	11.0±0.0	18.3±0.1	10.6±0.0	3.4±0.1	1.5±0.0
発酵茶	10.7±0.1	12.3±0.3	9.5±0.0	1.4±0.1	0.8±0.1

苦味先味については、発酵茶(10.7)は一番茶(11.1)及び三番茶(11.0)とほとんど差異が認められなかった。また、旨味並びに旨味後味については、緑茶よりも低い値を示す傾向(旨味:9.5(発酵茶)、10.5(一番茶)、10.6(三番茶);旨味後味:0.8(発酵茶)、1.3(一番茶)、1.5(三番茶))にあった。さらに、渋味と渋味後味については、本発酵茶は緑茶よりも大幅に低い値を示していること(渋味:12.3(発酵茶)、18.3(一番茶)、18.3(三番茶);渋味後味:1.4(発酵茶)、3.1(一番茶)、3.4(三番茶))が明らかになった。

本プロジェクトでは、これまでに専門の研究者による官能検査を実施し、発酵茶は味、香りについて玉緑茶とほぼ同等の評価を得られたこと、爽快で飲みやすく、かつ苦みや渋みが低いことなどを報告している⁸⁾。

今回、発酵茶の味を明らかにするために用いた味認識装置は、脂質/高分子ブレンド膜を味物質の受容選択性部分とし、この複数の脂質膜からなる電位出力応答パターンから味を数値化する装置である。これまでに本装置を用いて、焼酎⁹⁾、日本酒¹⁰⁾、醤油¹¹⁾などの食品の味識別が報告されている。

今回の試験は発酵茶は緑茶と比較して、渋味と苦味が低く、あっさりとした味を有する結果を示した。この結果はこれまでの官能検査結果と完全に一致するものであった。

比較対照として使用した緑茶には、カテキンなどのポリフェノールが豊富に含まれている。特に、夏に収穫される三番茶にはカテキンが高度に含まれていることから、渋みを有している¹²⁾。また、緑茶カテキンの中で高含量を示すのはエピガロカテキンガレート(EGCg)であり、EGCgは味認識装置の渋味センサーに対して高い応答を示すことも明らかになっている¹³⁾。

発酵茶は、原料として緑茶を使用していることからカテキンを含んでいるが、揉捻・酸化発酵工程によりその含量は大幅に減少している。通常、緑茶にはEGCg

は7~8%含まれているのに対して、本発酵茶には1%程度の含有量¹⁴⁾であった。

従って、今回の試験で見いだされた発酵茶の渋味低下は、主としてカテキン量の減少に起因していることが推察された。

② 発酵茶のアミノ酸分析結果

発酵茶を味測定に供した結果、旨味が緑茶よりも低い値を示すことが示された。

茶の旨味については、グルタミン酸、アスパラギン酸、テアニンのアミノ酸が関与している。発酵茶の旨味を検討するために、これらアミノ酸の測定を行った。その結果を表2に示す。

表2 発酵茶のアミノ酸分析結果

mg/100g (茶葉あたり)	グルタミン酸	アスパラギン酸	テアニン
一番茶	333	264	450
三番茶	123	123	58
発酵茶	40.3	19.3	19.4

グルタミン酸、アスパラギン酸、テアニンのアミノ酸が最も多く含まれていたのは一番茶であり、三番茶はその2分の1以下の含量であった。味測定の結果では、旨味に関して一番茶と三番茶の間に大きな差異は認められなかったが、アミノ酸含量は一番茶が明らかに高値を示していた。

発酵茶については、いずれのアミノ酸も一番茶の約10分の1、三番茶の3分の1以下の含量であった。味測定では、発酵茶は緑茶よりも旨味が低いことが示されたが、今回のアミノ酸分析結果と一致するものであった。

今回の味測定の結果、発酵茶は緑茶よりも渋味及び旨味が低いという結果が得られ、これら2つの味とその呈味成分(カテキン、アミノ酸)の含量との間に関連があることを確認した。

また、発酵茶について、これまでの官能試験で得られた「渋味が低く、あっさりとした」茶であるという結果は、味測定結果と一致しており、味認識装置と呈味成分の分析を同時に行うことにより、食品の味を正確に評価することが可能であることが示された。

まとめ

長崎県産の未利用資源であるピワ葉と緑茶番茶を原料とした発酵茶の味を解明することを目的として、味認識装置を用いての味測定を実施した。

その結果、発酵茶は旨味並びに旨味後味について緑茶よりも低い値を示していた。さらに、渋味と渋味後味については、緑茶よりも大幅に低い値を示していることが明らかになった。さらに、旨味成分としてアミノ酸、渋味成分としてカテキンの含量を検討した結果、味数値との関連が確認された。

以上の検討により、本発酵茶は渋味の低い、あっさりとした茶であることが実証された。

なお、本発酵茶は商品名「ワンダーリーフ」として、平成21年10月から販売開始された。



商品化された発酵茶

本研究は長崎県試験研究機関連携プロジェクトとして、長崎県工業技術センター、長崎県農林技術開発センター農産園芸研究部門茶業研究室（中核機関）、同果樹研究部門、九州大学大学院農学研究院、長崎県立大学シーボルト校看護栄養学部、長崎大学大学院医歯薬学総合研究科が参画して研究推進を行った。

参考文献

- 1) 玉屋 圭、前田正道、宮田裕次：長崎県産の未利用資源を活用した機能性茶葉の開発、日本食品科学工学会第51回大会、47 (2004)
- 2) 玉屋 圭、前田正道、宮田裕次ら：特願2005 - 002583 (2004)
- 3) A. Toshima, T. Matsui, M. Noguchi, Qiu Ju, K. Tamaya, Y. Miyata, T. Tanaka, K. Tanaka: J. Sci. Food Agric., 90, 1545(2010)
- 4) K. Tamaya, T. Matsui, A. Toshima, M. Noguchi, Qiu Ju, Y. Miyata, T. Tanaka, K. Tanaka: J. Sci. Food Agric., 90, 779-783(2010)
- 5) 宮田裕次、田中隆、玉屋圭、田丸静香、松井利郎、田中一成：混合発酵茶に含まれるポリフェノール摂取がラット脂質代謝に及ぼす影響、第63回日本栄養・食糧学会大会、34 (2009)
- 6) 田丸静香、宮田裕次、玉屋圭、田中隆、松井利郎、田中一成：混合発酵茶の血清中性脂肪低下作用について、第63回日本栄養・食糧学会大会、34 (2009)
- 7) 中村ら：茶業研究報告、49 (1990)
- 8) 宮田裕次、野田政之、玉屋圭、林田誠剛、徳嶋知則、西園祥子、松井利郎、田中隆、田丸静香、田中一成：三番茶葉とピワ葉を混合揉捻した新たな発酵茶の開発、日本食品科学工学会、64(2009)
- 9) 中原徳昭、境田博至、甲斐孝憲、榊原陽一、西山和夫、福田亘博、水光正仁：味覚センサを用いた本格焼酎の味評価、日本食品科学工学会、145 (2005)
- 10) Y. Arikawa, K. Toko, H. Ikezaki, Y. Shinha, T. Ito, I. Oguri, S. Baba: Sens. Mater., 7, 261(1995)
- 11) 飯山悟、池田知弘、都甲潔、八尋美希、マルチチャンネル味覚センサを用いた醤油の味の評価、日本食品科学工学会、615 (1997)
- 12) 村松敬一郎、小国伊太郎、伊勢村護、杉山公男、山本(前田)真理、茶の機能、45、学会出版センター (2002)
- 13) N. Hayashi, R. Chen, H. Ikezaki, S. Yamaguchi, D. Maruyama, Y. Yamaguchi, T. Ujihara, K. Kohata: Biosci. Biotechnol. Biochem., 70, 626(2006)
- 14) 玉屋 圭、前田正道、宮田裕次、田中一成、西園祥子、松井利郎、中島則房：未利用資源を活用した機能性茶葉の開発、日本食品科学工学会第54回大会、65 (2005)

非接触式水分ストレス計の開発

機械システム科 科長 兵頭 竜二
電子情報科 科長 指方 顕
電子情報科 研究員 田中 博樹

生育果実の糖度と水分ストレス（樹体の渇き具合）との間には密接な関係があるため、高品質な果実の生産には水分ストレスを指標とした適切な灌水管理が求められている。このため、水分ストレスによる緑葉の分光特性（色）の変化に着目した水分ストレス計の試作開発を進めている。試作開発する装置は、昼間、太陽光の下で、樹木赤道部（葉の茂った部分）を自動走査して簡便に水分ストレスを推定できる機能とする。

この報告では、主に、離れた対象物の分光特性を取得するための光学系について検討した。この結果、放物面鏡などで構成される特殊な光学系を活用することで、装置正面の延長上にある、スポット径約20mmの箇所の分光反射率特性を取得できることを確認した。また、測定対象物である緑葉が様々な傾きを持っていても、水分ストレスと関連性の深いレッドエッジ波長（可視光域から近赤外域にかけて反射率の増加率が最大を示す波長）は、安定して取得できることが確認できた。

1. 緒言

生育果実の糖度と、樹体の渇き具合である水分ストレスとの間には密接な関係があるため、高品質果実の生産では水分ストレスを指標とした適切な灌水管理が求められる¹⁾。このため、水分ストレスによる緑葉の分光特性の変化²⁾³⁾に着目した簡易な水分ストレス計の開発が進められている⁴⁾⁵⁾。しかしその開発では、予め選定した複数枚の緑葉について分光特性を計測し、その特徴量の変化から水分ストレスの推定を行っているため、葉の性状の変化や虫による食害などの影響で推定精度の向上に限界がある。

この報告では、このような誤差要因を軽減するための緑葉分光特性の計測方法として、樹木赤道部の分光特性を走査して、目的の緑葉分光特性のみを大量かつ効率的に抽出する方法について考察した。

2. 実験方法

サンプルとして摘み取ってきた緑葉を一列に並べて分光特性を直線状に測定し、その結果を用いて、樹木赤道部の分光特性の走査方法について検討した。

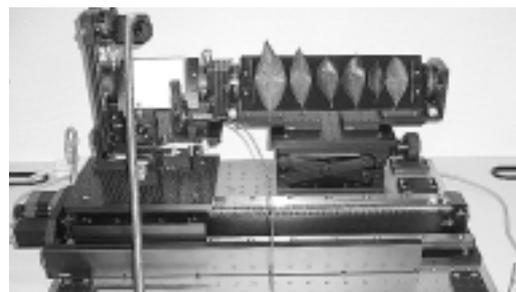
2.1 緑葉分光特性の走査実験

走査実験では、サンプルした緑葉を複数枚並べた実験用治具を準備し、一軸方向に光源と分光器の受光部を移動させながら葉面の分光特性を連続的に取得した。図1(a)はその外観を示し、図1(b)は光源やサンプル緑

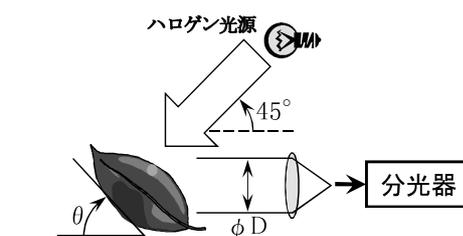
葉、分光器受光部などの位置関係を模式的に示している。

受光部には放物面鏡による光学系が組んであり、葉面で散乱される光の内、水平方向に向かう平行光のみが分光器に入射するように調整している。そして、入射する光束の直径は10mm~20mmとした。

ハロゲン光源から出る光については、分光器に入射する光との角度を45°に固定した。また、葉の水平面との角度は、35°、40°、45°、50°、55°とした。



(a) 外観



(b) 光源とサンプル葉と受光部の位置関係

図1 実験用治具

2.2 緑葉分光特性の解析処理

取得された分光特性は、分光反射率に換算した。さらに、その特性に現れる特徴量として、レッドエッジ波長⁴⁾ λ_{RE} と正規化植生指標 NDVI を求めて、その走査位置に応じた特徴量の変化を調べた。なお、 λ_{RE} ならびに NDVI の算出には次式を使用した。

$$\lambda_{RE} = \int_{\lambda_s}^{\lambda_e} R'(\lambda) \lambda d\lambda / \int_{\lambda_s}^{\lambda_e} R'(\lambda) d\lambda$$

$$NDVI = (\bar{R}_{800 \sim 820} - \bar{R}_{660 \sim 670}) / (\bar{R}_{800 \sim 820} + \bar{R}_{660 \sim 670})$$

3. 結果と考察

実験は、幅が15mm~30mm 程度のミカン緑葉を用いて実施した。

3.1 分光特性

図2は取得した分光特性の中から $\theta = 15\text{mm}$ の場合を例示したものであり、図1(a)にみられる左から3番目の葉のほぼ中央に相当する箇所のものである。なお、図中の凡例の順は、800mm~1000mm の領域のグラフの順に一致させている。また図中に細い実線で示された特性は、葉を取り除いて測定した結果であり、治具に使用したサポート材の分光特性を示している。

この図から、サンプル緑葉の角度 θ の変化に伴い、近赤外の反射率が変化して見えることや、 $\theta = 55^\circ$ の時には分光反射率全体が上方に平行移動して観測されていることなどが分かる。これらの原因は、緑葉が凹型に湾曲しているなど完全な平面でないため、サンプル緑葉を設置した角度によっては、緑葉内部の色素の状態などを反映した散乱光に加え、内部の状態を反映しない表面での反射光が分光器に紛れ込みやすくなるためと考えられる。

3.2 分光特性にみられる特徴量の位置的变化

図3は取得した分光特性から得られた特徴量について

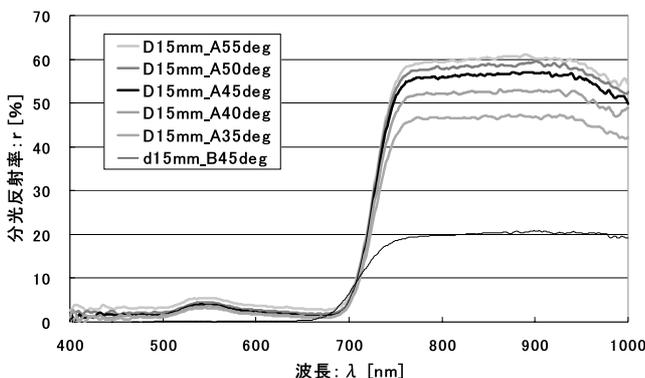
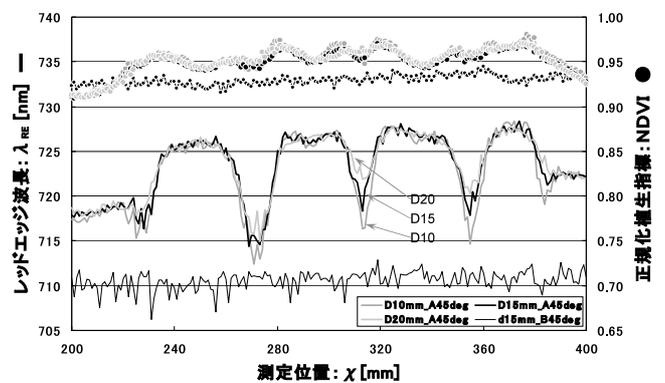


図2 分光特性の計測例 ($\theta = 15\text{mm}$ の場合)

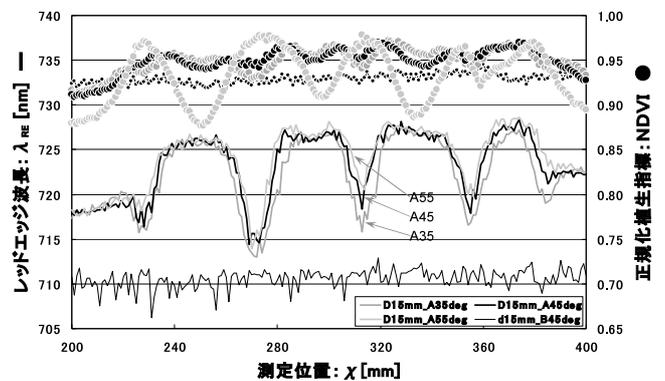
て、横軸を走査位置にして描画したものであり、実線がレッドエッジ波長、丸印の並びが NDVI である。また、レッドエッジ波長の特徴で山状になっている部分が緑葉を捉えた部分である。

図3(a)は $\theta = 45^\circ$ とし、 $D = 10\text{mm}, 15\text{mm}, 20\text{mm}$ の場合を示している。この図によれば、NDVI については、開口径 D の影響を殆ど受けないことが分かる。一方、レッドエッジ波長については、小さな開口径を用いた場合、緑葉と緑葉との隙間において、サポート材が持つレッドエッジ波長に近い値を示している。このことから、レッドエッジ波長は、開口径に依存して空間的な選択性が敏感になることが確認できる。言い換えれば、混在した分光特性の中から緑葉の分光特性を選択し易いことを意味する。

図3(b)は $D = 15\text{mm}$ で、 $\theta = 35^\circ, 45^\circ, 55^\circ$ の場合を示している。この図から、NDVI もレッドエッジ波長もサンプルの設置角度に依存して変化していることが分かる。特に NDVI の変化は3.1で述べた緑葉内部の状態を反映しない表面反射光の影響を強く受けていると理解できる。一方、レッドエッジ波長については、その算出に微分演算を含んでいることもあり、表面反射光の影響は NDVI の場合に比べて少ないと理解できる。



(a) $\theta = 45^\circ$ の場合



(b) $D = 15\text{mm}$ の場合

図3 レッドエッジ波長と正規化植生指標

4. 結 言

緑葉分光特性を用いて樹木の状態をセンシングする場合、樹木に付いている緑葉の分光特性を取得する必要がある。単葉毎の分光特性を利用するならば、測定できる枚数に限界があるため、数葉の分光特性から樹木全体の状態を推測することとなるが、緑葉の性状などの影響を拭い去れない。また、継続した観測を行う場合、条件が同一となるようなサンプル葉の選定も重要となる。これらを満足するには、必然的に多くのサンプル葉が必要となる。

また、樹木全体の分光特性を観察する方法も考えられるが、その場合には目的の緑葉だけでなく枝や果実などの分光特性も入り混じったものとなる。こうなれば、後で緑葉分光特性だけを分離抽出することは難しく、正しいセンシングが行えない。

図4は、本報告で提案する分光特性の走査方法を概念的に示したものである。例えば、樹木の赤道部と呼ばれる枝葉が最も繁って広がった部分を横一直線状に走査することを考える。この場合、取得された分光特性には、樹木表面に展開する緑葉や果実、枝、折り重なった緑葉のものなどが混在する。先に述べた様に、NDVIの観測値は葉の角度に依存するが、レッドエッジ波長など、微分特性を利用した特徴量の観測値には葉の角度の影響は現れにくい。そこで、これらの特徴を上手く利用して、走査された分光特性から緑葉のものだけを抽出すれば、一度の走査で大量の緑葉分光特性を取得することが可能となる。後はこの結果を利用すれば、簡易に樹木の状態をセンシングすることができると思われる。

今後は、この手法を用いた簡単操作型の樹木水分ストレス計の試作開発を試みる計画である。

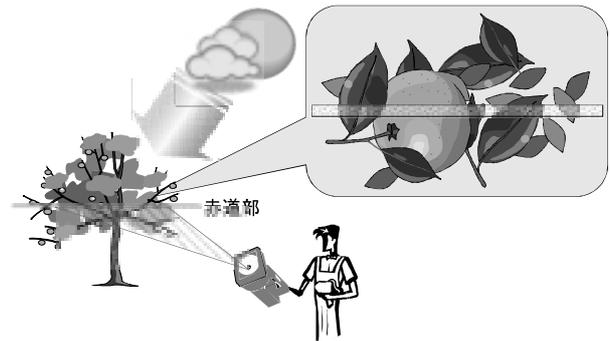


図4 樹木赤道部の分光特性の走査

参考文献

- 1) 野並浩、2001．植物水分生理学、pp 236 - 257．
- 2) 本郷千春、他、1998．分光反射率からみた樹木の水ストレス反応、写真測量とリモートセンシング、37(4) pp 43 - 50．
- 3) 西田顕郎、他、2000．樹木単葉の分光反射率特性と光合成速度および水分欠乏との関係、日本リモートセンシング学会誌、20(3) pp 6 - 16．
- 4) 兵頭竜二、他、2004．果実育成期間に水分ストレスを与えられたウンシュウミカンの緑葉分光特性とその果実糖度との関係、写真測量とリモートセンシング、43(5) pp 24 - 35．
- 5) 兵頭竜二、2008．簡易型樹木水分ストレス計の試作開発、日本写真測量学会平成21年度年次学術講演会発表論文集、pp .119 - 122．

主軸の回転同期による高能率微細加工技術の開発 微細加工技術の開発と摩擦係数低減方法の検討

機械システム科 主任研究員 小 楠 進 一

固体表面に微細な凹凸を創成することで、固体表面に様々な機能（摩擦係数の低減、流体抵抗の低減、光の反射・回折の制御、熱伝達の向上）を付加することができる。本研究では、安定して微細加工を行う装置の開発と微細加工における加工時間の短縮方法を検討した。さらに、摺動面の摩擦係数の低減方法を検討した。これらの結果を報告する。

1. 緒 言

図1に示すように、固体表面に微細な凹凸を創成することで、固体表面に様々な機能（摩擦係数の低減、流体抵抗の低減、光の反射・回折の制御、熱伝達の向上）を付加することができる。

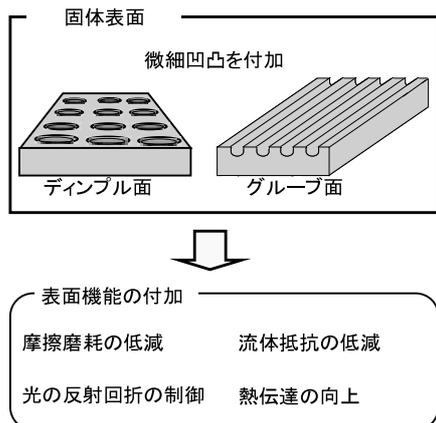


図1 微細加工による表面機能の付加

この技術の実用化のためには、以下の課題を解決する必要がある。

- 汎用的なマシニングセンタは、質量が大きなステージであるために、大きな慣性力を受ける。よって、精密な位置決めが必要な微細加工には不向きである。また、微細加工では小径エンドミルを使用する。よって、主軸の振れが大きいと小径エンドミルはチップングする。さらに、微細加工では精密な工作物の位置・姿勢の調整が必要なため、コンパクトで小回りのきく加工機のほうがよい。
- 微細なディンプル面を作成する際、加工時間が問題となる。そこで、平成19年度から平成21年度に開発した高速ディンプル創成法を微細加工に適用することにした。この高速ディンプル創成法は、

工具を傾斜させ、主軸の回転と工具の送りを同期させ、高速にディンプルを創成させる方法である（図2を参照）。この創成法では、切り込み深さが深い場合や、ディンプルの間隔が大きい場合、工具逃げ面と工作物が干渉する問題が残っていた。この干渉が小径エンドミルのチップングや精度低下の原因となる。

- 摺動面の摩擦係数を低減させる表面形状が明確でない。

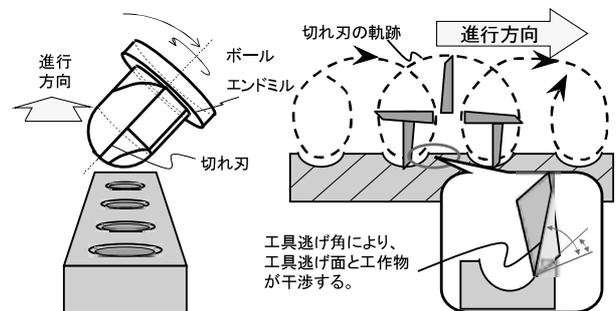


図2 高速ディンプル創成法の問題点

これらの課題を解決するために、本研究では、安定して微細加工を行う装置の開発を行った。また、高速ディンプル創成法における工具逃げ面と工作物の干渉を回避するため、最適な工具逃げ角の決定方法の開発を行った。さらに、摺動面による摩擦係数の低減方法を検討した。これらの結果を報告する。

2. 微細加工装置の開発

2.1 微細加工装置の開発方法

開発した微細加工装置を図3に示す。この微細加工装置の特徴は、小型でスピンドルを傾斜でき、安価に

作製できることである。表 1 に微細加工装置の仕様を示す。

精密位置決めのための工夫として、ブロックゲージなどの基準寸法の値から位置決め位置を補正できるようにした(図 4 上参照)。また、工作物の姿勢を調整するために、調整台を設けることにした(図 4 下参照)。

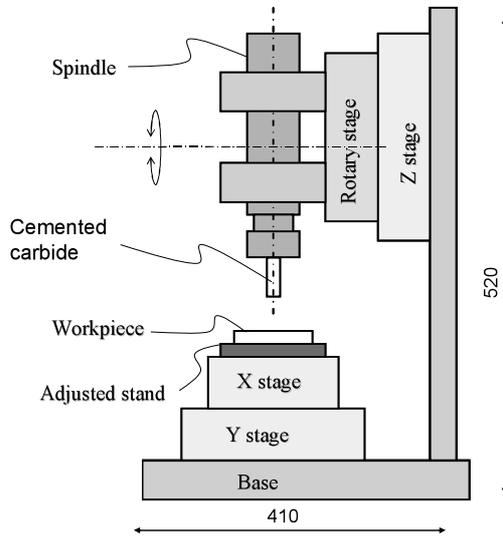


図 3 微細加工装置

表 1 微細加工装置の仕様

	Maximum displacement	Resolution
X and Y stage	100mm	1 μm
Z stage	100mm	0.02μm
Rotary stage	-	0.004°
	Maximum spindle speed	Spindle Accuracy
Spindle	60,000min ⁻¹	within 1 μm



図 4 精密位置決めのための工夫

2.2 最適な工具逃げ角決定方法

最適な工具逃げ角決定方法を図 5 に示す。ディンブ

ルの間隔(1刃当たりの送りに相当する)ディンブの深さ(切り込み深さに相当する)切れ刃形状、工具逃げ角、逃げ面の長さを設定することにより、工具が回転移動したときの切れ刃上の点の位置や、工具逃げ面上の点の位置を、数式で表現できる。これを用いることで、工具逃げ面と工作物が干渉する位置を予測し、最適な工具逃げ角を決定する。

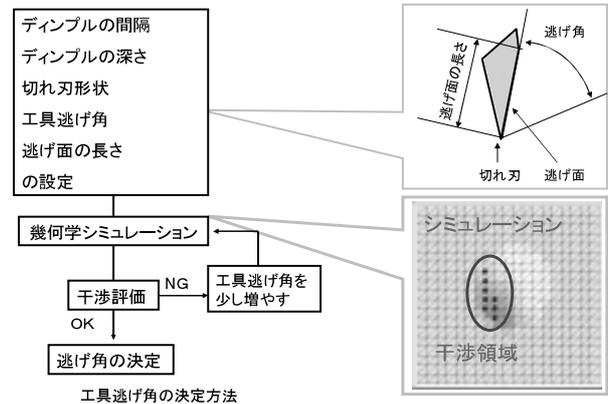


図 5 工具逃げ角の決定方法

2.3 微細加工装置の評価方法と評価結果

開発した微細加工装置の性能を評価するために、間隔500μm、深さ5、10、15μmのディンブを作製することを目標とし、工具を上下移動させてディンブを作製する実験を行った。切削方法を図 6 に、切削条件を表 2 に示す。このとき、切り込み速度5μm/s、逃げ速度5μm/s、送り速度500μm/sとした。また、回転速度30,000min⁻¹で回転しているR0.5mmの超硬ボールエンドミルを用いて、S45Cの金属プレートを切削することにした。

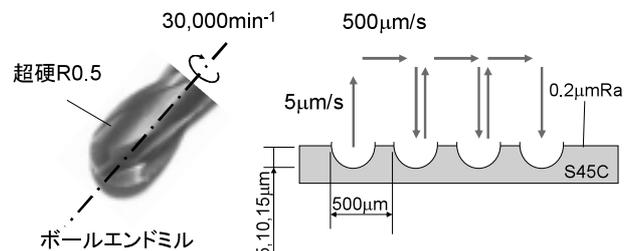


図 6 切削方法

表2 切削条件

直径 (mm)	工具材料	回転速度 (min ⁻¹)	切り込み速度 (μm/s)	送り速度 (μm/s)	目標深さ (μm)	目標間隔 (μm)
R0.5	超硬	30,000	5	500	5, 10, 15	500
工作物材料			S45C			
表面粗さ			Ra0.2μm			

切削実験を行った結果を図7に示す。深さの最大誤差は3.2μmであり、間隔の最大誤差は4.3μmであった。

この結果から、開発した微細加工装置は、実用上問題なくマイクロオーダーの微細加工が可能であると結論付けた。

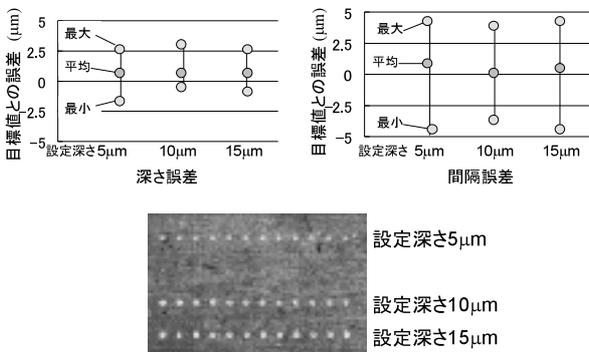


図7 微細加工装置の性能評価結果

2.4 工具逃げ角決定方法の評価方法と評価結果

間隔500μm、深さ15μmのディンプルを高速ディンプル創成法で作製することを前提とし、一般的な逃げ角15°のボールエンドミルと開発した逃げ角25°のボールエンドミル（工具逃げ角決定方法より逃げ角を決定した）を切削実験により比較した。

切削方法を図8に、切削条件を表3に示す。送り速度3.125mm/sとし、回転速度312.5min⁻¹で回転しているR0.5mmの超硬ボールエンドミルを用いて、S45Cの金属プレートを切削することにした。

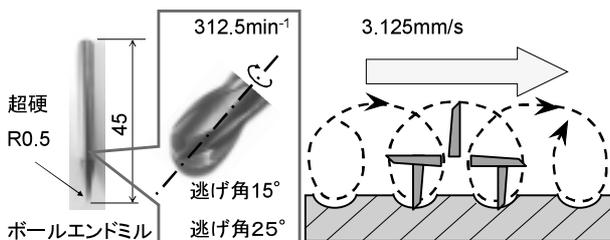


図8 加工方法

表3 切削条件

直径 (mm)	工具材料	回転速度 (min ⁻¹)	送り速度 (μm/s)	間隔 (μm)	切り込み (μm)
0.5	超硬	312.5	3125	500	15
工作物材料			S45C		
表面粗さ			Ra0.2μm		

切削実験を行った結果を図9に示す。切削実験の結果、逃げ角を最適化したボールエンドミルは、逃げ面と工作物が干渉せず、安定して高速ディンプル創成法を行うことができた。また、ディンプルを0.2s/個で作製することができた。

この結果から、開発した逃げ角の決定方法により、工具逃げ面と工作物の干渉回避が可能と結論付けた。

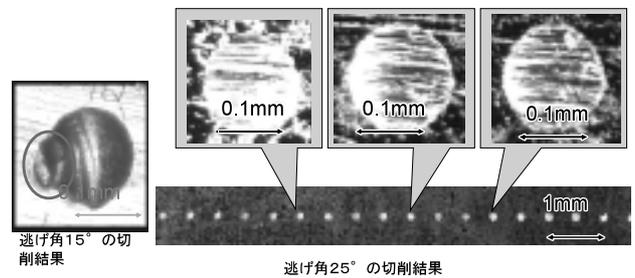


図9 工具逃げ角の決定方法の評価結果

3. 微細加工による摩擦係数の低減方法の検討

3.1 微細凹凸の効果

きさげ加工により摺動面に微細な凹凸を設けて、摺動面の摩擦係数を低減している。微細凹凸の効果は以下の通りである（図10参照）。

- 1) 摺動面同士のすり合わせにより、摩擦係数の増加の原因となる硬い磨耗粒子が生じる。この磨耗粒子の逃げ場所の確保を行っている。
- 2) 潤滑油が移動したとき、摺動面に凹凸があると、流路が狭まることによる圧力上昇と流路が広がることによる圧力下降が生じる。流路が広がるとき、気泡が発生するために、圧力下降は小さい。よって、全体を見れば、圧力上昇が生じていることになる。
- 3) 潤滑油を貯蔵する効果があり、油膜厚さが小さくなると、マイクロプール効果により、潤滑油の圧力が大きくなり、当たり面に潤滑油が流れ込む。

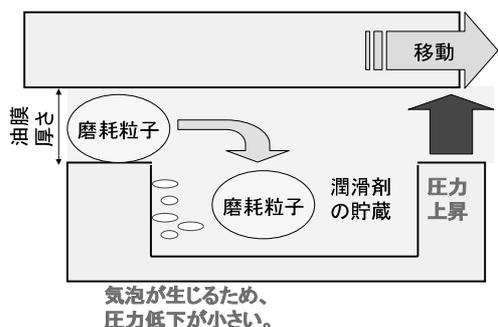


図10 摺動面上の微細凹凸の効果

潤滑状態から見た微細凹凸の効果を説明する。境界潤滑において、摩擦係数は金属接触点のせん断と薄い油膜のせん断に影響を受ける。流体潤滑において、摩擦係数は流体の粘性抵抗に影響を大きく受ける。よって、微細凹凸が上述の効果を持つならば、境界潤滑においてその効果を発揮する。今回の検討では、図11の波線のように、境界潤滑における摩擦係数が低減することを期待した。

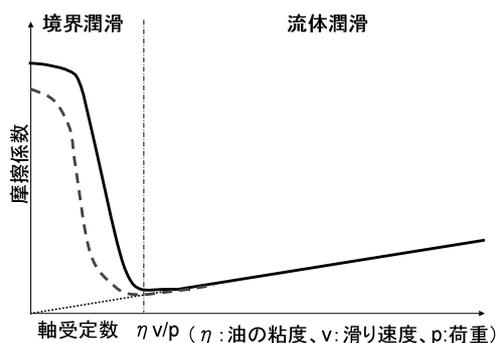


図11 微細凹凸による摩擦係数の低減の期待

3.2 摩擦試験装置と摩擦条件の決定方法

摩擦試験装置を図12に示す。ディスクは回転し、指示した荷重によりリングが押し込まれる。このとき、ロードセルにより、摩擦力は測定される (JIS K7218)。

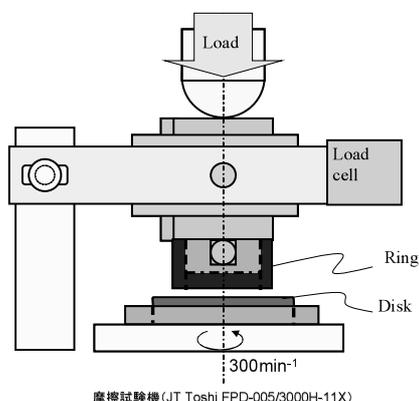


図12 摩擦試験装置

摩擦係数はいろんなパラメータの影響を受ける。正確に摩擦状態を把握するために、荷重の変化が支配的に油膜厚さを変化させ、摩擦係数を変化させる摩擦条件を導き出す必要がある。

まず、表4の摩擦条件で摩擦試験を行った。その結果、最小荷重200Nで、すでに摩擦係数0.2(境界潤滑)であった。最小荷重では、流体潤滑であってほしいので、潤滑状態を液滴供給からオイルバスに変更した。

次に、変更した摩擦条件で試験を行った結果、再現性がなかった。そこで、コンタミ、洗浄用エタノールがオイルバスに入り込まないように工夫した。

再試験を行った結果、潤滑油の温度上昇による潤滑油の粘性の低減が摩擦係数に大きく影響を与えていることが分かった。そこで、潤滑油の温度変化を小さくするべく、潤滑油の粘度を68番(摺動油)から32番(タービンオイル)に変更し、ディスクの回転速度を2000RPMから300RPMに変更することで、潤滑油のせん断熱の発生を抑えた。さらに、室温を25℃一定に調整した。

最終的に摩擦試験の条件は表5となり、図13が示す通り、荷重の変化が支配的に油膜厚さを変化させ、摩擦係数を変化させる摩擦条件となった。

表4 初期の摩擦条件

荷重	200N
回転速度	2000min ⁻¹
潤滑状態	液滴
オイルの粘度	68mm ² /s ²
室温	制御なし
摺動面の状態	0.2Raの平面

表5 最終的な摩擦条件

荷重	200N
回転速度	300min ⁻¹
潤滑状態	オイルバス
オイルの粘度	32mm ² /s ²
室温	25℃
摺動面の状態	0.2Raの平面

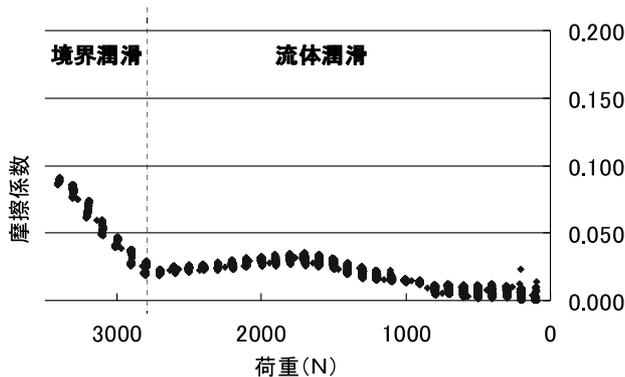


図13 最終的な摩擦条件における荷重と摩擦経緯数の関係

3.3 微細凹凸の影響の評価方法

前節で決定した摩擦条件を用いて、摺動面上の微細凹凸の影響を評価することにした。微細溝を付加した試験片の形状を図14に示す。微細溝の間隔、深さ、幅を表6に示す。ディスク側の摺動面に、溝幅0.1、0.2、1 mm、溝間隔1、2、4 mmを付加して、きさげ面に近似させた。当たり面は、三面摺りしたオイルストーンとダイヤモンドコンパウンドで仕上げ、Ra0.2 μ m以下とした。

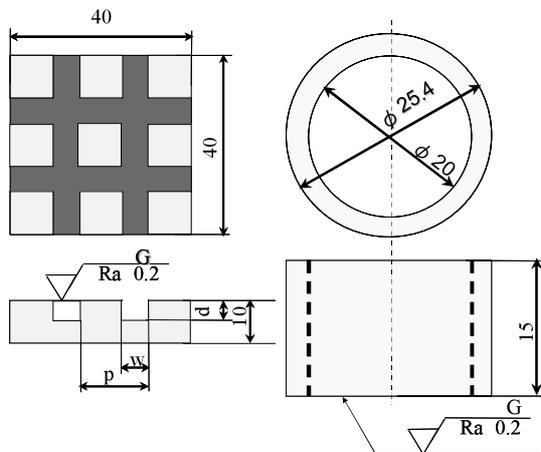


図14 微細溝を付加した試験片形状

表6 微細溝の間隔、深さ、幅

P(mm) W(mm) α (μ m)	P(mm)			(None)
	1	2	4	
None	Plane	Plane	Plane	Plane
0.1 5				Plane
0.2 10				Plane
1 50				Plane

3.4 微細凹凸の影響の評価結果

図15に間隔の影響を、図16に幅の影響を示す。微細加工を行うと、低荷重で摩擦係数が大きくなっており、境界潤滑状態（油膜厚さが小さい状態）になっていると考えられる。同様に、幅を変えてみても、微細加工を行うと、低荷重で摩擦係数が大きくなっており、境界潤滑状態になっていると考えられる。

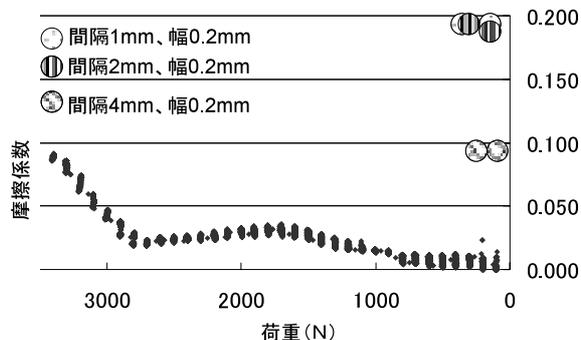


図15 改善前の摩擦条件

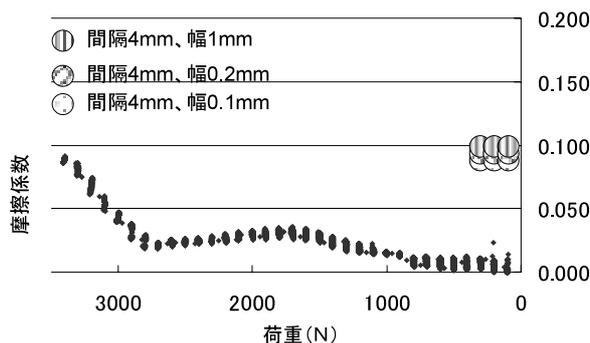


図16 改善前の摩擦条件

3.5 考察

期待とは異なり、微細溝を付加したほうが、低荷重で摩擦係数が大きくなる（境界潤滑状態になる）理由を考察する。3.1節で説明したとおり、微細溝を作成すると、潤滑油に動圧が生じる。ディスクの溝がマス目状であるため、摺動面間に生じる潤滑油の動圧は不規則に摺動面を押す。この試験では、リングを支えるジグは2点で支持されているために、リングに小さな振れが生じる。リングの振れが生じると、リングの外周部のみがディスクの凹凸と接触することになる（図17参照）。このとき、接触圧力が極大となるために、リングの外周部をディスクの凹凸部が削る状態になる。このため、摩擦係数が増加した（境界潤滑状態になった）と考えられる。

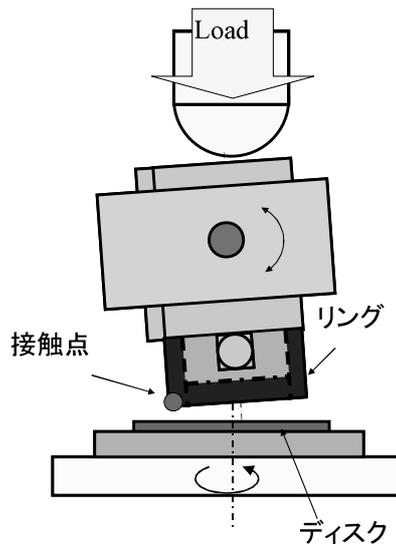


図17 リングの振れ

この考察を確認するために、試験片の摺動面の摩擦痕を測定した(図18参照)。その結果、図19の通り、リングのエッジ部ディスクの摩擦痕が一致することを確認できた。

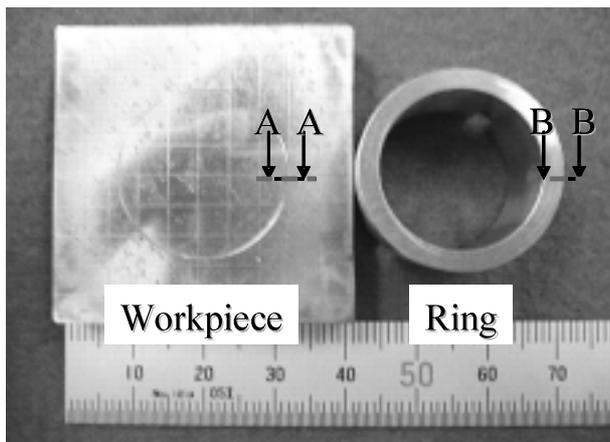


図18 改善前の摩擦条件

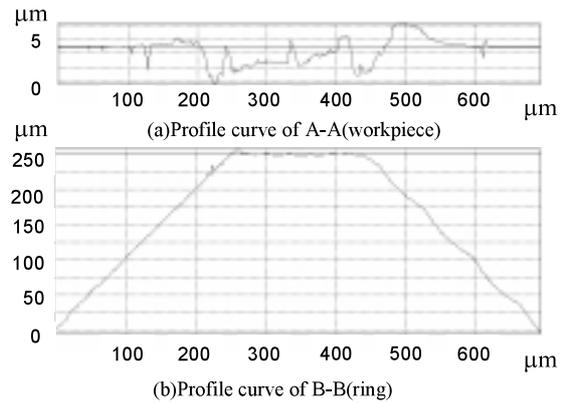


図19 改善前の摩擦条件

この結果から、スラスト荷重の摩擦を想定した場合、機構的に正確に水平を維持できなければ、微細凹凸により生じる潤滑油の動圧が摺動面同士の平行維持を邪魔し、エッジと微細凹凸の接触なり、摩擦係数が大きくなる(境界潤滑になる)ことが分かった。

4. 結 言

この報告でのまとめを以下に示す。

- 1) 開発した微細加工装置は、実用上問題なくマイクロオーダーの微細加工が可能である
- 2) 高速ディンプル創成法において、開発した逃げ角の決定方法により、工具逃げ面と工作物の干渉回避が可能である。
- 3) スラスト荷重の摩擦を想定した場合、機構的に正確に水平を維持できなければ、微細凹凸により生じる潤滑油の動圧が摺動面同士の平行維持を邪魔し、エッジと微細凹凸の接触なり、摩擦係数が大きくなる(境界潤滑境界になる)ことが分かった。

機械加工技術の効率化・高精度化のための研究 - 試作支援システムの高度化 -

機械システム科 主任研究員 小 楠 進 一

近年の納期短縮、品質向上の要求に応えるべく、急速な勢いでCAE技術（シミュレーションを用いた設計技術）やCAM技術（コンピュータを用いて機械加工する技術）は高度化している。長崎県内企業がこの流れに乗り遅れないために、当センターは時代の流れに合った技術支援が必要である。

本研究では、最新のCAE技術やCAM技術を効率よく技術移転するために、①遠隔解析支援システムの開発と②機種依存性を考慮したNC生成システムの開発を行った。

1. 緒言

2008年度版「データでみる県勢」をみると、長崎県の総工業出荷額に占める一般機械製造業の割合は22.5%に上り、機械設計・機械加工に関する技術支援が不可欠である。

これまで、この業界に対し、当センターでは、CAD/CAE/CAMに関する技術提供を行ってきた。しかし、より実践的な技術指導を行うためには、以下の問題を解決する必要があった。

- 1) 参考となる解析ノウハウを示したものが少ない。
- 2) 大規模解析を行う際、何日も解析時間を要する。
- 3) 仕様が異なる工作機械のNCを生成できない。
- 4) 3次元モデルからNCを生成できない

本研究では、これらの問題を解決するために、①遠隔解析支援システムの開発（図1参照）②機種依存性を考慮したNC生成システムの開発（図2参照）を行った。

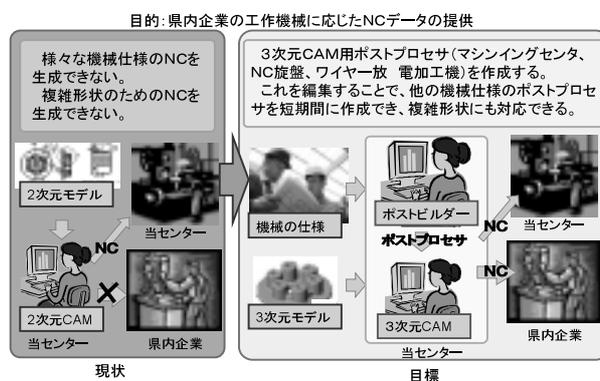


図2 機種依存性を考慮したNC生成システム

2. 開発方法

2.1 遠隔解析支援システム

遠隔解析支援システムの概略を図3に示す。遠隔解析支援システムは、長崎県工業技術センターから熊本県産業技術センターのサーバーにアクセスし、解析事例の参照・登録や、大規模計算を行うシステムである。

今回、このシステムは、九州・山口の公設試験研究機関のCAE担当者が協力して開発を行った。

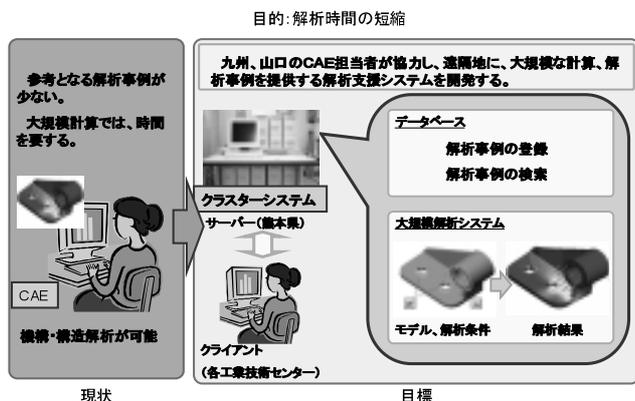


図1 遠隔解析支援システム

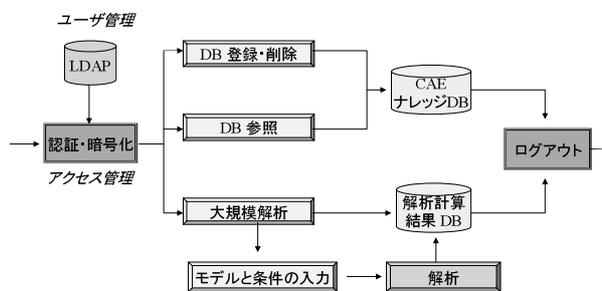


図3 遠隔解析支援システムの概要

2.2 機種依存性を考慮したNC生成システム

工作機械の仕様や運用方法に応じたNCプログラムを生成するためには、工作機械ごとのポストプロセッサが必要である(図4)。本研究では、当センターのマシニングセンタ、ターニングセンタ、ワイヤー放電加工機用ポストプロセッサを作成し、これを編集することで他の工作機械のポストプロセッサを短期間に作成できるようにした。

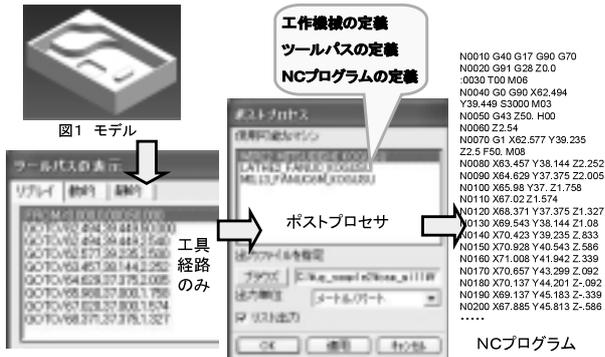


図4 CAMのポストプロセッサ

3. 結果と考察

3.1 遠隔解析支援システム

遠隔解析支援システムの有効性を確認するために、長崎県工業技術センターから熊本県産業技術センターのサーバーにアクセスし、遠隔解析支援システムのデータベース機能に問題なくアクセスできるか評価した。

図5、図6、図7に示すように、長崎県から熊本県のサーバーにアクセスし、解析事例を検索・入力することが可能であることを確認した。

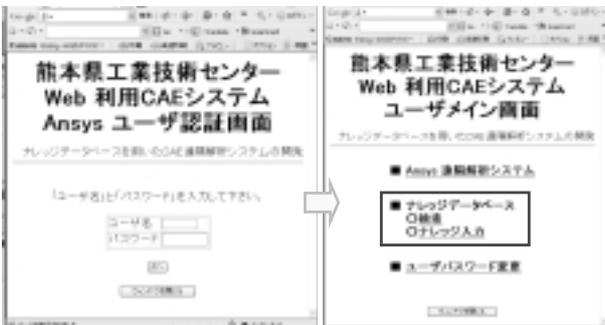


図5 遠隔解析支援システムの入口画面

次に、遠隔解析支援システムのデータベースに、登録した解析事例を図8に示す。この結果、これらの解析事例を参照し類似解析を行うことができ、解析時間を短縮することが可能となった。

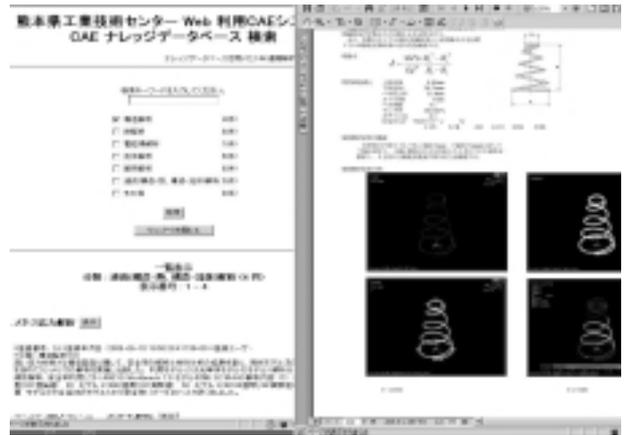


図6 解析事例の検索結果

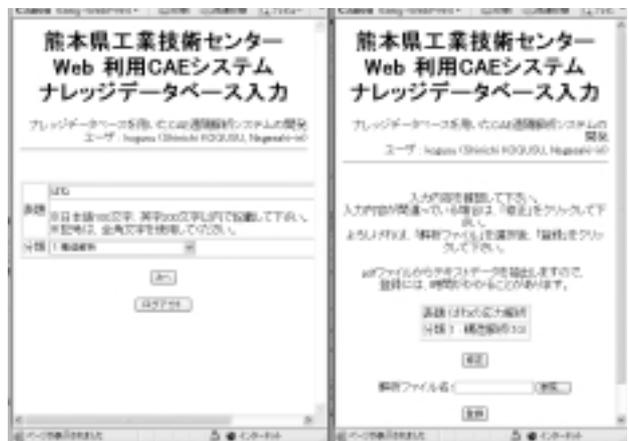


図7 解析事例の入力画面

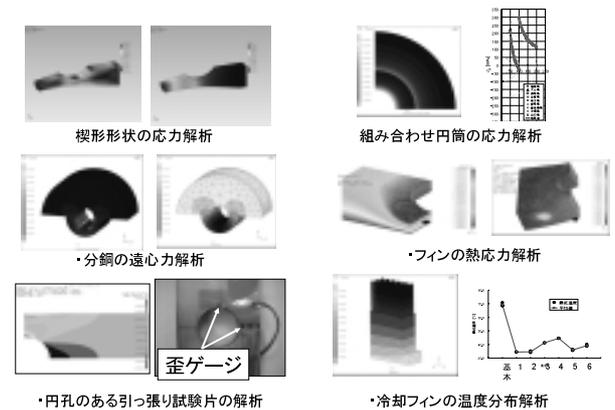


図8 参照可能となった解析事例

3.2 機種依存性を考慮したNC生成システム

作成したポストプロセッサの有効性を確認するために、NCプログラムと切削シミュレーションを比較した。その結果、図9、図10、図11に示す機械加工のNCが正しく生成できることを確認できた。

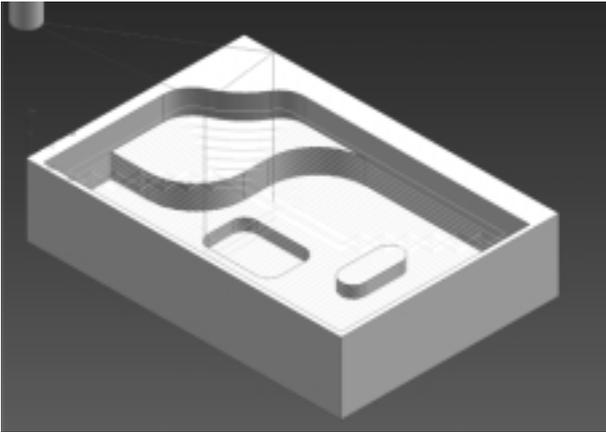


図9 平面加工

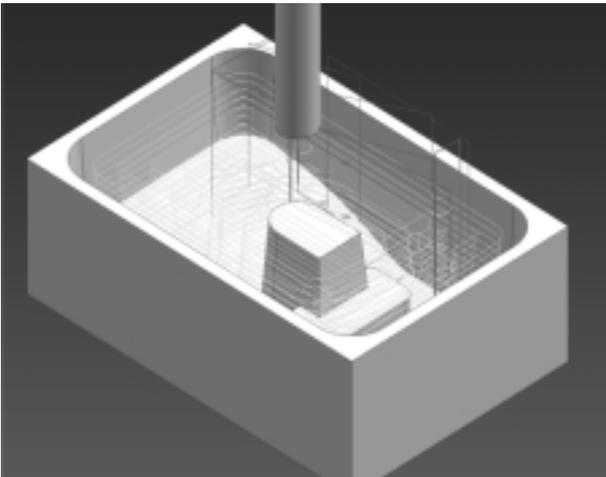


図10 等高線加工

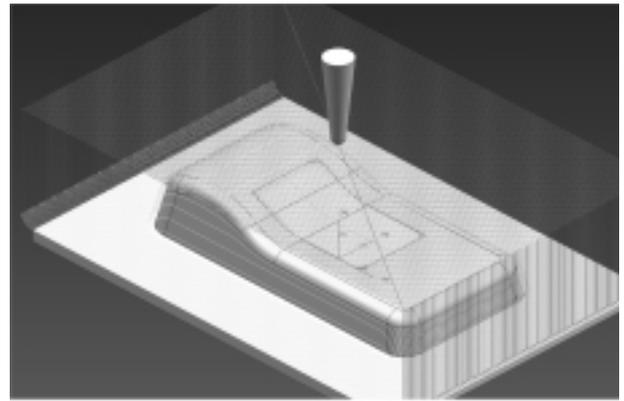


図11 曲面加工

4. 結 言

1) 遠隔解析支援システム

遠隔解析支援システムのデータベース機能の有効性を確認できた。今後の展開として、遠隔解析支援システムの大規模計算機能を評価するために、モデルと解析条件を作成するシステムを構築する。

2) 機種依存性を考慮した NC 生成システム

切削シミュレーションを用いて、ポストプロセッサが正しく NC を生成することを確認できた。今後の展開として、実際の加工により、マシニングセンタ、ターニングセンタ、ワイヤー放電加工機用ポストプロセッサの評価を行う。

青果物「酸度」の高精度非破壊分析技術の開発

電子情報科	専門研究員	下村 義昭
電子情報科	主任研究員	田尻 健志
電子情報科	研究員	田中 博樹
電子情報科	科 長	指方 顕

ミカン等の果実では糖度に加え、糖酸比が味を左右する重要な品質項目となる。約1%程度と僅かな酸度を測定する場合、従来の光計測方式では果物に照射された光がその内部で強い散乱を受け、この散乱により大きな測定誤差が生じる。一方、我々がこれまでに開発した糖度計測手法では青果物に照射された光の内部散乱による減衰量とその変化を完全に補正することができ、酸含量など微量成分の測定に有効となる。本研究ではこうした独自の計測手法を応用した「酸度」の高精度な計測技術の開発を目的としている。

1. 緒言

品質の高い青果物は、地域ブランドとして高価で売買され、地域振興の面でも重要である。県内でも温州ミカン等で代表される高品質・高価な青果物が栽培されている。こうした青果物を高価に市場に提供するには、生育途中の青果物品質を基にした栽培管理と出荷時の青果物個々の品質による等級選定が必要となる。近年では、こうした果実個々の品質管理を目的に近赤外分光法¹⁾を利用した果実糖度の非破壊計測装置が幾つかのメーカーで実用化され、産地の選果場等で利用されている。

従来の近赤外分光法を用いた果実糖度の測定では試料スペクトルの微分値と試料成分(糖度等)実測値との関連付けを重回帰分析、部分最小二乗(Partial Least Squares: PLS)回帰分析等の統計処理により行い(これを検量線作りと呼ぶ)、作成した検量線を使用して測定スペクトルから試料成分を定量する²⁾³⁾。

こうした近赤外分光法では試料スペクトルの測定と統計処理が主要作業であり、測定対象の物理的な解釈無しで実施可能な簡便な手法であるが、①装置構成が複雑で高価、②消費電力が多い、③品種・収穫時期毎の検量線の更新に手間がかかる等の欠点があり、農家個々までの十分な普及には至っていない。そこで、我々はこうした従来の問題点を解決する新たな糖度の非破壊計測方式を独自に考案し⁴⁾⁵⁾、他の製品を差別化する非破壊糖度計の開発をこれまでに実施してきた。

一方、特にミカン等の果実では糖度に加え、「糖酸比」が味を左右する重要な品質項目となるが、従来の測定装置では「酸度」の測定精度が悪く、高精度な酸

度計の開発が関連業界から望まれている。ミカン等の果実に含まれる酸含量は約1%と僅かで、従来装置では青果物に照射された光が内部で強い散乱を受け、その内部散乱による光の減衰量とその変化により大きな測定誤差が生じてしまう。一方、我々がこれまでに開発した糖度計測手法は青果物に照射された光の内部散乱による減衰量とその変化を補正することができ、酸含量など微量成分の測定に有効となる。

本研究ではこうした独自の計測手法を応用した「酸度」の高精度な計測技術の開発を目的としている。

2. 研究内容と結果

2.1 TFDRS法と相対吸光度比

図1に光ファイバーを用いた拡散反射率 R の測定法(Three-Fiber-Based Diffuse Reflectance Spectroscopy: TFDRS)⁶⁾⁷⁾を示す。1本の光照射ファイバーを用いて果実にレーザー光を照射する。果実に照射されたレー

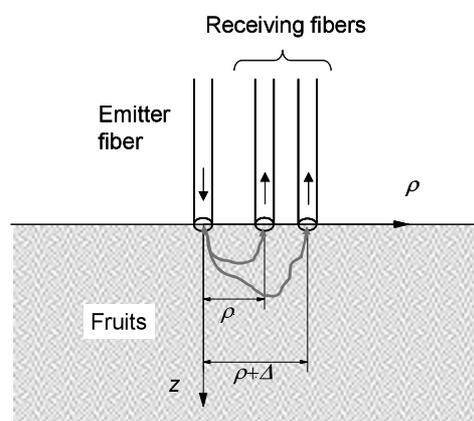


図1 TFDRSによる拡散反射率の測定方法

レーザー光は果実内部での散乱、吸収を繰り返しジグザグ光路に沿って伝播する。2本の受光ファイバーで受光される2つの拡散反射光の強度比から相対反射率 R を算出し、下記式で表される相対吸光度比 $\gamma^{(6,7)}$ を定義する。

$$\gamma(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_0) = \frac{\ln(R(\lambda_1)) - \ln(R(\lambda_0))}{\ln(R(\lambda_2)) - \ln(R(\lambda_0))} \quad (1)$$

ここで $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2$ は果実に照射されるレーザー光の波長を表す。(1)式で表される相対吸光度比 γ は検出距離 ρ の変化、あるいは果実個々の散乱係数の変化等で生じる散乱光路長の変化に左右されない物理量となり、しかも果実糖度との直線相関を示す⁸⁾。

2.2 他成分補正方式による酸度測定方法

糖度に加え酸度が含まれる果実では、その吸収係数が酸度と糖度によって複雑に変化する。図2はグルコースとクエン酸の混合水溶液における吸収係数の各成分濃度依存を示す。糖と酸が含まれる果実の酸度の計測では、相対吸光度比への糖度の影響を無くすための他成分補正を行う必要がある。

糖度、酸度に加えて散乱係数が異なるトマトの反射スペクトルを散乱理論^{9),10)}に基づき計算した結果を図3に示す。ここでの計算では、糖度(グルコース濃度)を4 wt% ~ 12 wt%、酸度(クエン酸濃度)を0 ~ 4 wt%とそれぞれ変化させた。

図3に示した反射スペクトルを用いて糖度、酸度と相関のある波長とその組み合わせによる複数の相対吸光度比を抽出した。抽出した複数の相対吸光度比による糖度、酸度の推定結果を図4に示す。糖度、酸度共に推定誤差が ± 0.3 wt%以下と実用的な精度が得られ

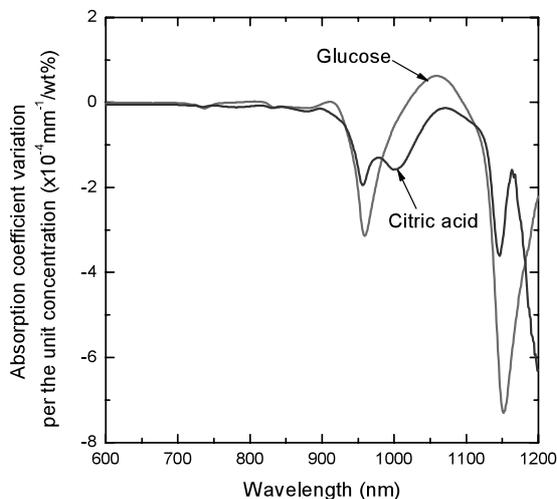


図2 糖度、酸度による水溶液の吸収係数変化量

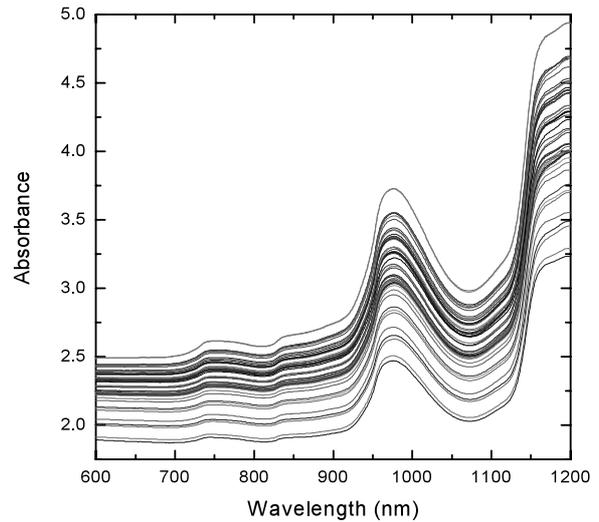


図3 反射スペクトルの理論計算結果
トマトの散乱モデルを用いて、散乱係数、酸度、糖度を変えて反射スペクトルを計算した結果。

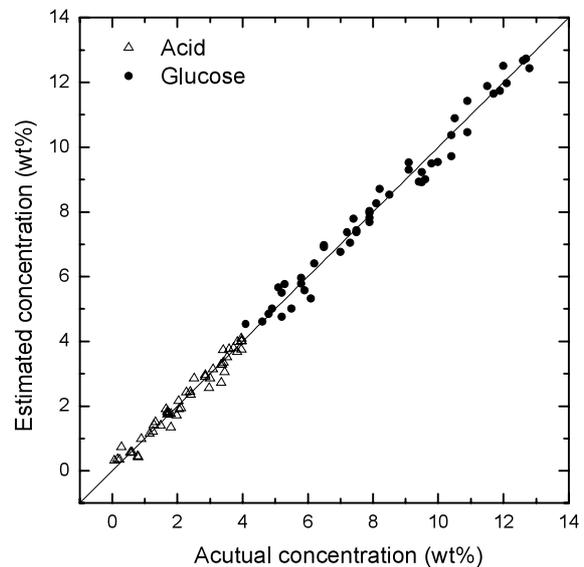


図4 相対吸光度比を用いた糖度、酸度の推定結果
トマトの散乱モデルを対象に糖度、酸度と相関のある波長と複数の相対吸光度比を用いて推定した。

ている。以上の結果から、複数の相対吸光度比を用いることで糖度、酸度の各影響をそれぞれに受けことなく、実用的な精度での糖度、酸度の測定が可能であることが示された。

2.3 酸度測定時の果実温度の影響

相対吸光度比は近似的に果実の吸収係数のみの関数で表される。吸収係数は温度の影響を受けて変化するため、その関数となる相対吸光度比も温度の影響を受けて変化する。そのため、相対吸光度比を用いた糖度、酸度の計測では、果実温度による相対吸光度比の変化による糖度、酸度の推定誤差を補正する必要がある。

輻射温度計などで測定した果実の表面温度の実測値を利用する果実温度補償方式の検証結果を図5に示す。本結果より、果実温度を15℃から35℃の範囲で変化させた場合、果実温度の影響を補正することで実用的な精度(±0.3wt%以下)での酸度測定が可能であることが示された。

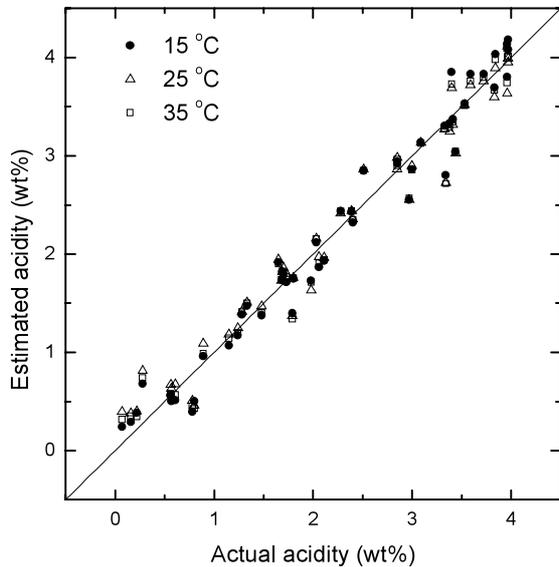


図5 果実温度補償による酸度の推定結果
果実温度を15度(●)、25度(△)、35度(□)に変化させた。

2.4 他成分補正方式の実験的検証

図6にTFDRSをベースとした実験装置の概略図を示す。光源に電子制御波長可変Ti:sapphireレーザー(繰り返し周波数5kHz、パルス幅50ns、平均出力60~70mW、メガオプト社製)を用いた。発振波長領域は900~1070nm(スペクトル幅1nm以下)で、糖度、酸度の測定に必要な波長範囲を十分にカバーしている。またこの波長可変レーザーでは音響光学波長変換フィルター(AOTF: Acousto Optical Tunable Filter)¹¹⁾を用いることでレーザー光の波長・出力を機械的な駆動部無しで電子的に制御する。

光ファイバーを介してレーザー光を果実に照射し、一部果実からの透過光を2本の光ファイバーを介してInGaAs PINフォトダイオードで検出した。この光センサで検出した検出信号に対しレーザーの繰り返し周波数に同期した復調検波をロックインアンプで行い、その出力信号をAD変換ボードにより5kspsでサンプリングした。2本の受光ファイバーで検出される光強度の比で定義される相対反射率を900~1070nmの範囲で1nmステップ単位で測定した。

測定用サンプルとしてトマト、リンゴの各50個を用

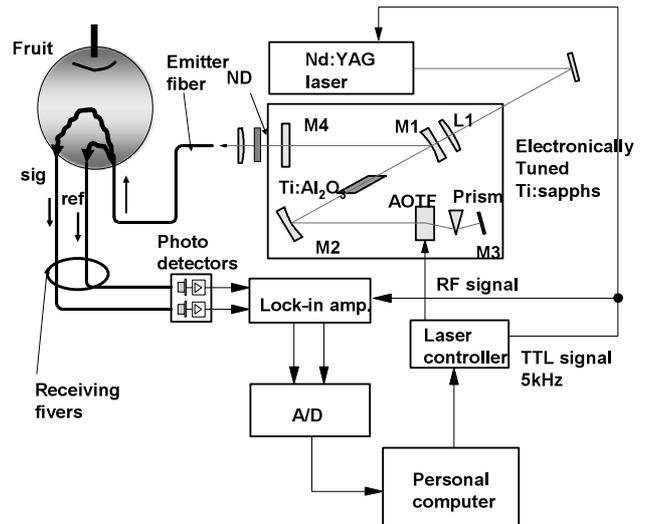


図6 TFDRSをベースとした実験装置の概略図

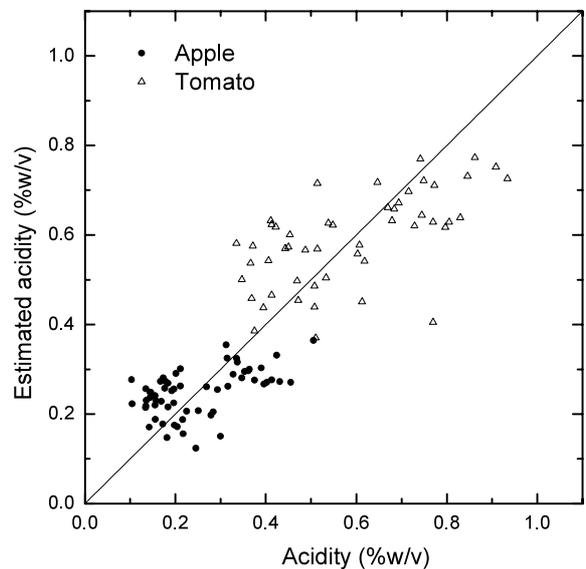


図7 TFDRSによる果実酸度の推定結果
測定サンプルはリンゴ(●)、トマト(△)の各50個。参照の酸度実測値は果汁酸度計(CAM500、京都電子工業社製)での測定値を示す。

いた。測定後、各サンプルの果汁を抽出し、その果汁中の酸度を果汁酸度計(CAM-500、京都電子工業社製)で測定した。

果汁酸度の実測値と非破壊測定による酸度推定値の関係を図7に示す。糖度の影響を補正する新たな他成分補正方式を用いることで、糖度の影響を受けることなく実用的な精度(±0.3wt%)での酸度測定が可能であることが示された。

2.5 酸度測定装置の試作

提案した糖・酸度測定アルゴリズムに基づき酸度測定装置（重量：約8kg、サイズ：430mm(W)×158mm(H)×382mm(D)）を試作した。図8に試作装置の外観写真を示す。本装置では、内蔵した放射温度計により果実の表面温度を測定し、その温度に基づき温度による測定後差を補正することができる。また、測定用の光源は最大7種類の波長の半導体光源を搭載することが可能で、糖度、酸度等の測定項目に応じて波長を切り替えることができる。こうした波長の切り替えに加え、測定項目の選択や測定開始等の計測制御はUSBを介してパソコンにより制御する仕様となっている。

3. 結 言

TFDRSで計測される相対吸光度比は果実内部での散乱の影響を受けず、酸含量など微量成分の測定に有効となる。しかし、果実の吸収係数は糖度、酸度に加え温度の影響を受けて複雑に変化し、吸収係数の関数となる相対吸光度比も同様に各成分と温度の影響を受けて変化する。相対吸光度比を用いて特定の成分を測定するには、他の成分や温度変化による相対吸光度比への影響を補正する必要がある。本研究では、複数の相対吸光度比を用いた他成分の影響を補正する糖・酸度測定方式、ならびに果実温度により生じる測定誤差の補正方法を新たに提案し、 $\pm 0.3 \text{ wt}\%$ と実用的な精度での酸度の計測が可能であることが理論・実験の両面で検証された。

図9はTFDRSをベースに商品化した携帯型「糖度計」で、重量約200gと世界最軽量を実現している。今後は、この携帯型「糖度計」に本開発で得られた酸度の計測機能を新たに追加した「糖・酸度計」の実用・事業化に向けた取り組みを行う予定である。

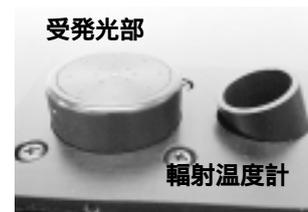


図8 試作した酸度測定装置本体とその受発光部



図9 TFDRSをベースに商品化した携帯型「糖度計」光源に発光ダイオードを用いた非破壊糖度計で、重量約200gと世界最軽量を実現している。

参考文献

- 1) 尾崎幸洋、河田聡編：近赤外分光法（日本分光学会測定法シリーズ32、学会出版センター、東京、1996）。
- 2) S. Kawano, T. Fujiwara, and M. Iwamoto: J. Japan Soc. Hort. Sci.62(2) (1993) 465.
- 3) R. K. Cho, M. R. Sohn, and Y. K. Kwon: J. Near Infrared Spectrosc.6(1998) A 75.
- 4) 下村義昭：特願2003 - 113498 .
- 5) 下村義昭、田中精史：特願2006 - 100604 .
- 6) Y. Shimomura et al.: Proc. of SPIE 5739 (2005) 145.
- 7) 下村義昭、岡田龍雄：レーザー研究、33 (2005) 620 .
- 8) Y. Shimomura, S. Miki, and H. Ichise: Proc. of IEEE/LEOS Annual Meeting(2005) 882.
- 9) A. Ishimaru: “Wave Propagation and Scattering in Random Media”, IEEE Press, New York(1997).
- 10) M. S. Patterson, B. Chance, and B. C. Wilson: Appl. Opt.28(1989) 2331.
- 11) S. Wada, K. Akagawa, H. Tashiro: Opt. Lett.21(1996) 731.

環境変動に対応した移動システムの開発

	電子情報科	主任研究員	堀江貴雄
	電子情報科	科長	指方 顕
協和機電工業株式会社	研究開発部門	グループ長	酒井 寿美雄
協和機電工業株式会社	研究開発部門		上田 訓之
マックスコーポレーション株式会社	システム技術開発部	主 任	佐藤 徳人
マックスコーポレーション株式会社	システム技術開発部		小西 準哉
	株式会社九州テン	事業推進課	池田 廣一
	九州工業大学	名誉教授	安部 憲広
	九州工業大学情報工学部機械情報工学科	准教授	田中 和明

無人搬送技術は生産現場を中心に広く普及しているが、これらの多くはレールの敷設など大掛かりなインフラ整備を必要としている。これら従来型の搬送技術は大量生産を目的とする大規模工場に使われてきたが、県内の中小規模工場では多品種少量生産型の事業が多いことから生産ラインが頻繁に変更されるため、導入が困難であった。そこで本研究ではレール敷設など大掛かりなインフラ整備を必要とせず、各種センサを複合的に用いて、周辺の人間を高速に認識し、衝突を回避しつつ移動する自律移動システムを開発する。平成21年度は、障害物を回避しつつ所定座標まで移動する小型搬送車のハードウェア、制御プログラム、操作インタフェースを試作した。

1. 緒言

無人搬送車（AGV）は生産現場を中心として広く普及している。一般にレール軌道を敷設し、その上を走行させる方式、ガイド用のマグネットを床面に貼りつけ、センサで読み取り追従させる方式等が広く使われてきた。また適用される現場は主に大量生産を行う大規模工場であり、専用走行レーンの特定の経路を往復する、または周回することが基本であった。

一方、県内中小工場や倉庫などの現場は多品種少量生産が多く、頻繁に生産ラインレイアウトが変更される。またスペース上の制約から専用の走行レーンを設置することは困難である。

海外の開発例として、2004年から米国国防高等研究計画局（DARPA）による無人自動車レースが開催され、2007年には市街地を模擬したコースを、GPS、レーザーレンジファインダ、ステレオビデオカメラ等のセンサ情報をワークステーションでリアルタイム処理し、信号などの交通法規と他車両を自律回避しながら走行する移動ロボットが実現されている。日本国内においては、2007年から自律ロボットによる屋外走行競技であるつくばチャレンジが毎年開催されている。この競技ではロボットにGPS、レーザーレンジファインダ、カメラ等の各種センサを搭載し、観客を含めた周辺環

境に一切手を加えず自律移動させることを目標としており、実際の公園内道路を自律移動するなどの成果を挙げている^[13]。

そこで本研究ではこれら近年注目されているロボット技術を導入した中小規模工場向け自律移動システムを開発する。工場内での車両位置センサとして、レーザー式ポジショニングセンサ、障害物検出用としてレーザーレンジファインダ、周辺作業員の個別認識にICタグを利用し、これらの情報を複合的に用いることで、目標地点又は作業員へ、途中の障害物を回避しつつ移動するシステムを開発する。

特に平成21年度は障害物を回避しつつ所定座標まで移動する小型搬送車のハードウェア、制御プログラム、操作インタフェースを試作したので報告する。

2. 自律移動型小型搬送台車

県内鑄造工場、鉄工所、酒造メーカー出荷倉庫を調査した結果、手押し台車に100kg以下の搬送物を載せ、移動させている実態があることが判明した。これらの搬送ルートは単純な往復運動ではなく、工程進捗によって様々であることがわかった。また載せる対象の大きさ、数が多様であることから自動化は困難で、載せ下ろしは作業員が行っている。このことから既存の

手押し台車と同一の寸法サイズで、一旦搬送物を載せれば、簡単なボタン操作のみで後は、経路中の障害物を自動回避しつつ目的地まで搬送することを目標とした。具体的には県内酒造メーカー出荷倉庫で使用されている手押し台車サイズを参考に試作した。

試作機外観を図1、2に示す。

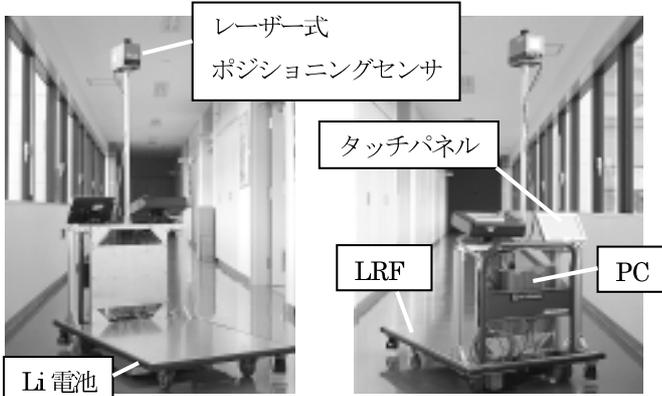


図1 試作機(前)

図2 試作機(後)

表1 試作機諸言

車両寸法	1250×850×1885
荷台寸法	1000×800×165
車体重量	50kg
積載重量	200kg
位置センサ	レーザー式ポジショニングセンサ
障害物検出	レーザーレンジファインダ
操作方式	タッチパネル
電源	リチウム電池
駆動方式	ACサーボモータ2軸

3. 絶対位置検出

レーザーレンジファインダセンサの水平方向の環境形状データを、画像データとしてあらかじめ記録しておき、計測したデータと照合することでセンサの位置、姿勢を計算する手法が提案されている^[2]。環境に手を加えず位置測定することからインフラ整備を必要としないメリットがある。

本研究では画像変換を行わず、測定データ形式のまま照合計算を行うプログラムを試作し、30mm以下の測定精度、10Hzの更新周期をもつ位置検出プログラムを試作した。しかしながら、一般工場等では作業者が多数存在することで取得データが大幅に変化し、照合が困難になると考えられる。特徴点を設定し、そのデータのみを照合することが考えられるが、形状データのみで特徴点を決定することは実環境では普遍性が

低い。そこで本研究ではAGV用に市販されているレーザー式ポジショニングセンサを用いた。

このセンサは反射強度を特徴点の基準として扱うことでロバストな位置検出を実現しているセンサである。

上部にあるレーザー受発信部を回転させることで、360度半径30mにあるリフレクタを検出することができる。使用するリフレクタとしてはレーザー入射方向へ反射させることができる再帰反射性をもつリフレクタを使用する。

あらかじめ、壁や柱などにリフレクタを3枚以上貼りつけ、その貼付パターンを一度センサで検出し、センサ内ROMに書き込んでおく。このリフレクタ配置パターンをレイヤと呼び、センサ内に最大40レイヤ登録可能である。RS232Cで車両制御用コンピュータと接続し、位置検出用コマンドを送信するとその時点でのリフレクタパターンを検出し、内蔵DSPでレイヤパターンと照合することで、現在座標、角度を取得することが可能である。

表2 ポジショニングセンサコマンドの例

	フォーマット	例
車両PCセンサ	レイヤ番号、X速度 (mm/sec)、Y速度 (mm/sec)、角速度 (deg/sec)	0, 200, 200, 30
センサ車両PC	X座標 (mm)、Y座標 (mm)、角度 (deg)、測定品質 (0~100%)、位置算出に使用されたリフレクタ数	4500, 1000, 60, 85, 6

このセンサは、リフレクタの検出状態、センサの急激な回転、移動が起きると、まれに検出エラーや、誤出力が発生する。そこで本システムでは前回正常測定時の座標を元に駆動輪回転速度を用いて予測座標を算出し、センサ出力が閾値を超えた場合、予測値で補間する処理を行っている。

4. 走行経路データ

移動システムをスタート地点からゴール地点まで走行させるため、経路を制御コンピュータに与える必要がある。本システムでは、レイヤ番号、絶対位置座標、姿勢角度、到達判定半径をメンバにもつデータ型を定義し、これをつなぎ合わせ経路パスを生成し、管理することとした。到達判定経路は目標パスへの誘導精度を示している。半径が大きければ走行軌跡はおおまか

に、半径が小さければより正確に目標経路を実現する。

車両と目標経路の距離に応じて速度を制御しており、すべての経路で判定半径を小さく設定していると、厳密な位置制御の為、走行速度が著しく低下する。よって、ゴール地点の判定半径は小さくし、途中の経路パスは大きく判定半径を設定することで、適度な走行軌跡精度を実現しつつ、目標座標への正確な誘導が可能となった。

5. 障害物回避

レーザーレンジファインダによって車両周囲360度半径およそ30m 高さ11cm の範囲にある障害物を検出可能である。障害物回避アルゴリズムの開発例として、大島が自律走行ロボットの技術大会である「つくばチャレンジ2007」で完走を果たした移動ロボットに実装したアルゴリズムを参考とした^[1]。このアルゴリズムは車両正面を中心に想定する車両走行エリアを徐々に伸ばしながら左右に走査、エリア内に障害物がないか判定し、最も長手の走行エリアの方向を選択している。

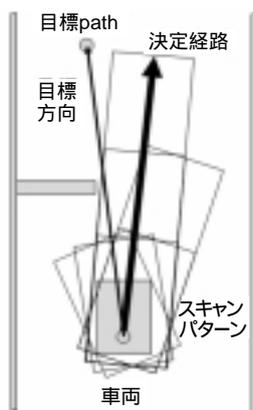


図3 障害物回避アルゴリズム

本システムではこのアルゴリズムをベースとして、まずレーザー式ポジショニングセンサで絶対座標を検出後、目標座標の方向と距離を算出し、目標方向を中心に ± 30 度の範囲、目標距離を7段階に分割し、干渉計算を行う(図3)。この段階で走行可能なエリアが見つからない場合は、探索範囲を ± 90 度まで広くし、再探索を実行する。最も長手かつ非干渉エリアの中央を選択方向とし、距離に応じて走行速度を決定する。干渉計算は方向転換時を考慮し、左右側面と後方も考慮している。計算結果をもとに左右モータの回転速度を決定し、モータドライバへ指令を出力する。なお目標経路パスの方向を目標値として左右車輪速度はPID制御によるフィードバックを行っており、路面特

性等による誤差を補正している。

6. 実験及び考察

県内酒造メーカー出荷倉庫において走行実験を行った(図4)。あらかじめ倉庫内全体に12枚のリフレクタを貼付し、3つのレイヤによってマッピングを実施した。



図4 酒造メーカー出荷倉庫での実験

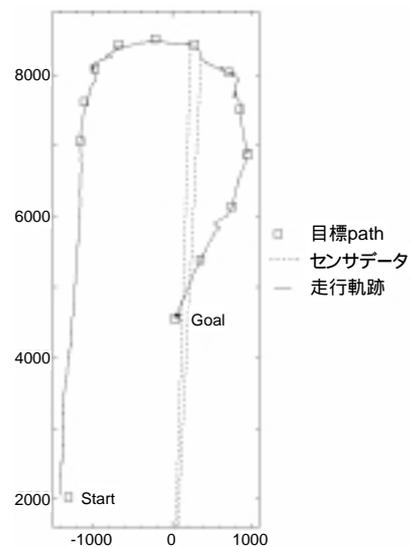


図5 カーブ走行

スタート地点からおよそ6m前進し、右旋回をおこなう経路をタッチパネルインタフェースを利用し、到達判定半径100mmの13点で設定し、走行した結果を図5に示す。細かく経由点を設定することで直線近似されたカーブ軌跡を実現可能なことを確認した。スタートから7番目から8番目の経由点間においてレーザー式ポジショニングセンサ出力が連続して得られなかったが、3.で述べた補間処理によって走行に支障になるような大きな誤作動とならなかった。

次にスタート地点からおよそ11m直進し、左に方向転換後2m前進し、再び左転換後10m前進し停止

する経路を設定し、障害物として幅 2 m、長さ 4 m のトラックと、同方向に移動中の手押し台車の 2 例について走行実験を実施した。なお、あらかじめシステムには障害物情報は与えていない。

トラック回避時の走行結果を図 6 に示す。走行開始直後からトラックを検出し、左に回避を行い、ほぼ通り過ぎた時点で所定の経路に合流できている。この例でも 3 番目の経路点付近でセンサデータが取得できていないが、補間処理によって支障なく方向転換が完了していることを確認した。

手押し台車の回避の結果を図 7 に示す。手押し台車が移動することで、走行可能エリアが変化していくが、うまく回避、追い抜き、所定経路に合流できていることがわかる。また最終ゴール地点での座標誤差はいずれの場合も 20mm 以下となった。

以上の結果から障害物回避を行いつつ、任意の座標に誘導可能なことを確認できた。

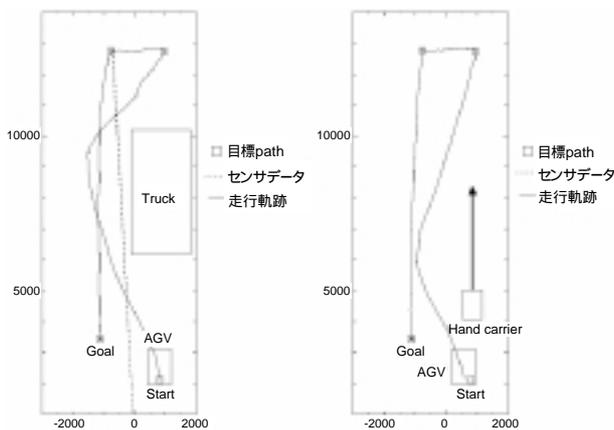


図 6 トラック回避

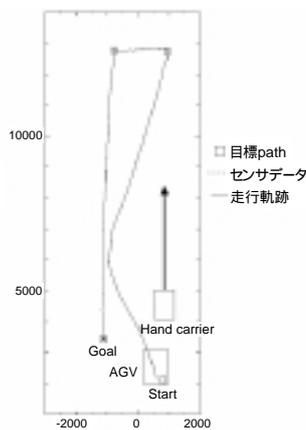


図 7 手押し台車回避

7. 結 言

大掛かりなインフラ整備を必要としない小型自律搬送台車の試作を行った。レーザー式ポジショニングセンサとレーザーレンジファインダを用いて、障害物を回避しつつ目的地点まで移動可能なことを実験によって確認した。

平成22年度は個別認識システムを試作し、周辺ユーザーを認識し、特定ユーザーへの自動誘導機能を追加する予定である。これらの機能は高機能搬送システムやサービスロボットシステムの基盤技術として今後県内企業と製品化を検討していく。

参考文献

1) 「つくばチャレンジ」オーガナイズセッションレポート～実環境のチャレンジから見てきたもの

<http://robot.watch.impress.co.jp/cda/news/2008/01/17/859.html>

2) 栗田高裕, 安部憲広, 田中和明, “ テンプレートマッチングを用いた環境認識による移動ロボットの制御”, 日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2 N 18, 2007

3) 坪内孝司, Yoichi MORALES, Alexander CARBALLO, 原祥亮, 油谷篤志, 城吉宏泰, 廣澤敦, 鈴木祐輔, Mehrez KRISTOU, 山口智也, 澤田有希子, 森川直樹, “ つくばチャレンジ2008における筑波大学知能ロボット研究室「屋外組」の取組み”, 第9回 SICE システムインテグレーション部門講演会, 1 I 4 6, 2008

難削性ステンレス鋼の加工面を平滑にする切削加工技術の開発

工業材料科 科 長 瀧内直祐
工業材料科 研究員 太田泰平

長崎県内の金属加工業では、鉄鋼材料における切削加工技術が中心であるが、材料の高機能化、多様化等により、ステンレス鋼の難削材料に関する要求が高まっている。しかし、ステンレス鋼の切削加工の問題点として、工具刃先への凝着、ステンレス鋼の表面における加工硬化等が生じやすく、工具刃先の欠損、加工面の粗さ等の問題がある。そこで、TiAlN コーテッドハイス工具（A社製）におけるステンレス鋼の切削油剤、ミストによるエンドミル切削加工実験を行い、工具の摩耗状況、加工面（表面）粗さについて比較検討を行った。さらに、同じ工具メーカーであり、同一の表面処理である TiAlN コーテッド超硬工具と上記の TiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤及びミストについても比較検討を行った。その結果について報告する。

1. 緒言

長崎県内には、金属加工業の中小企業が多数存在しており、工作機械、切削工具等の進歩により、切削加工技術の高度化が進んでいる。しかし、金属系難削材料は、切削加工に長い時間を要し、工具寿命が短い等、非効率的な加工作業となっている。また、切削油剤の使用による作業環境の悪化、塩素系油剤の焼却時に発生するダイオキシンが問題になっているため、切削油剤の使用量を減らす要望が益々強くなっているのが現状である。そこで、本研究は、環境問題等を考慮した切削油剤を使用しない切り屑の除去方法を検討し、切削工具の劣化防止及び適切な加工面粗さを得ることを目的とする。

筆者らは、難削材料の切削加工性の向上を目的として、高クロム鋳鉄、Cr-Ni 耐熱合金（45%Cr30%Ni 合金）、インコネル、チタン合金、ステンレス鋼等における切削加工性について報告⁽¹⁾⁻⁽¹¹⁾を行った。

TiAlN コーテッドハイス工具におけるステンレス鋼の切削油剤、ミストによるエンドミル切削加工実験を行い、工具の摩耗状況、加工面（表面）粗さについて比較検討を行った。さらに、同じ工具メーカーであり、同一の表面処理である TiAlN コーテッド超硬工具と上記の TiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤及びミストについても比較検討を行った。その結果について報告する。

2. 実験方法

実験装置は、前報⁽¹¹⁾と同様に汎用フライス盤（牧野フライス製（KVJP55））を用いた。被削材は、ステン

レス鋼（SUS304）を使用した。エンドミル切削工具は、TiAlN コーテッドハイス工具（φ8mm、4枚刃、A社製）、TiAlN コーテッド超硬工具（φ8mm、4枚刃、A社製）を使用した。ステンレス鋼のエンドミル切削加工条件は以下のとおりである。

- ・切削速度100m / min、
- ・送り速度0.03mm / 刃
- ・軸方向切り込み量10mm
- ・半径方向切り込み量0.5mm
- ・工具突き出し長27mm
- ・切削加工方法（側面切削、ダウンカット）

切削油剤、ミストの方法でエンドミル切削加工実験を行い、ミスト（切削油）は、ブルーベ切削油（LB-1）、切削油剤は、日石三菱ユニソルブル EM-H（20倍希釈）を使用した。切削工具の摩耗（最大の逃げ面摩耗幅、チップング幅等）については、前報⁽¹¹⁾と同様に、工具顕微鏡（X30）（ニコン製（MM-11B））を用いて、所定加工パス毎の切り刃における最大の逃げ面摩耗幅等を測定した。さらに、加工面における表面粗さは、前報⁽¹¹⁾と同様に、加工面の両端より20mmの所を、それぞれA部、B部とし、その中心部の切削工具の進行方向をX方向、切削工具の軸方向をY方向として表面粗さを表面粗さ・輪郭測定機（ミットヨ製（CS-400））を用いて測定した。

3. 結果と考察

3.1 TiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤、ミストにおける工具刃先の逃げ面摩耗幅と切削距離との関係

図1は、TiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤、ミストにおける工具刃先の逃げ面摩耗幅と切削距離との関係を示す。図中の ○印は、ミスト、△印は、切削油剤の結果である。切削油剤を使用した場合、切削距離2mにおいて、TiAlN コーテッドハイスは、逃げ面摩耗幅が、約30 μm に対して、ミストの場合、TiAlN コーテッドハイスは、逃げ面摩耗幅が、約40 μm であった。

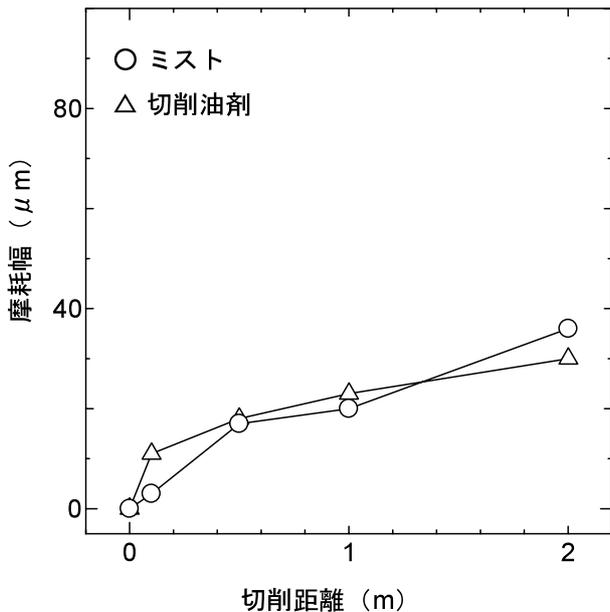
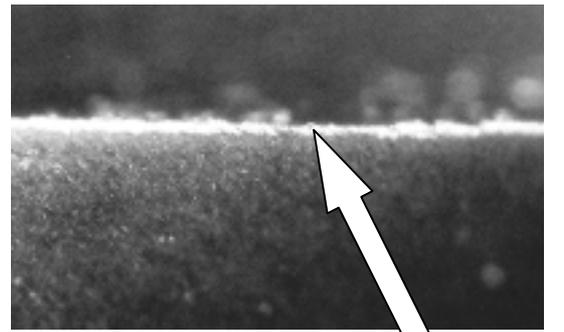


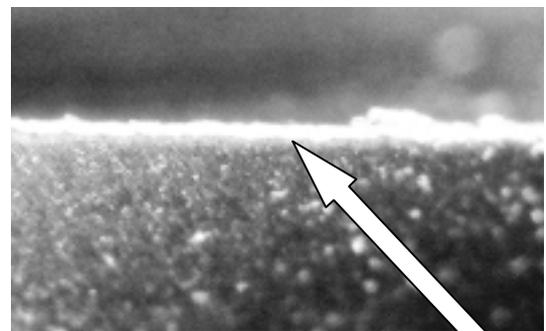
図1 摩耗幅と切削距離との関係

図2は、切削距離2m、切削速度100m/minにおいて、切削油剤によるTiAlN コーテッドハイス工具及びミストによるTiAlN コーテッドハイス工具の逃げ面摩耗を示す。図より、ミストによる結果は、切削油剤の結果に比べて、逃げ面摩耗幅が大きい結果となった。



逃げ面摩耗幅

TiAlN コーテッドハイス工具 (切削油剤)



逃げ面摩耗幅

TiAlN コーテッドハイス工具 (ミスト)

図2 切削油剤によるTiAlN コーテッドハイス工具及びミストによるTiAlN コーテッドハイス工具における刃先の摩耗

3.2 TiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤、ミストにおける表面粗さ (Ry) と切削距離との関係

図3は、TiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤、ミストにおける表面粗さ (Ry) と切削距離との関係を示す。図中の ○印は、ミスト、△印は、切削油剤の結果である。

前報⁽¹¹⁾と同様に、表面粗さ (Ry) の値において、前述のY方向 (工具の軸方向) の表面粗さ (Ry) は、工具軌跡の影響のため、X方向 (工具の進行方向) の表面粗さ (Ry) に比べて、約2 μm 程度の高い値となった。図中の表面粗さ (Ry) の値は、Y方向 (工具の軸方向) の表面粗さ (Ry) の値を示す。図より、表面粗さ (Ry) は、ミストよりも切削油剤の方がやや良好な結果となった。

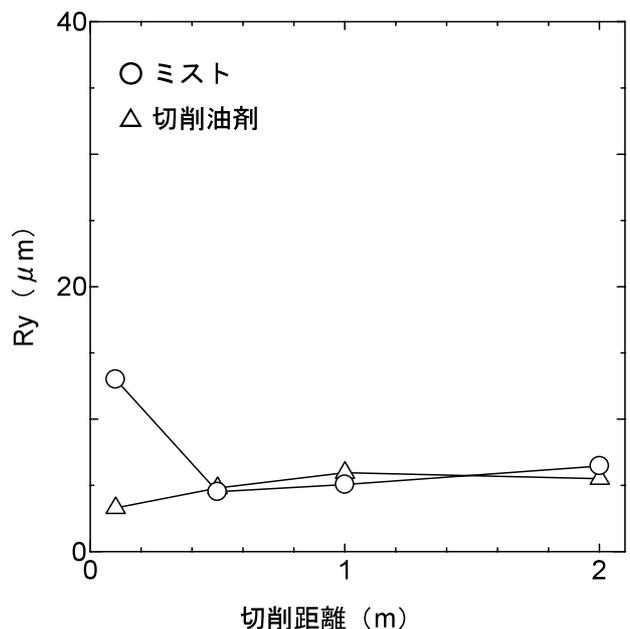


図3 表面粗さ (Ry) と切削距離との関係

3.3 TiAlN コーテッド超硬工具及びTiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤における工具刃先の逃げ面摩耗幅、表面粗さ (Ry) と切削距離との関係

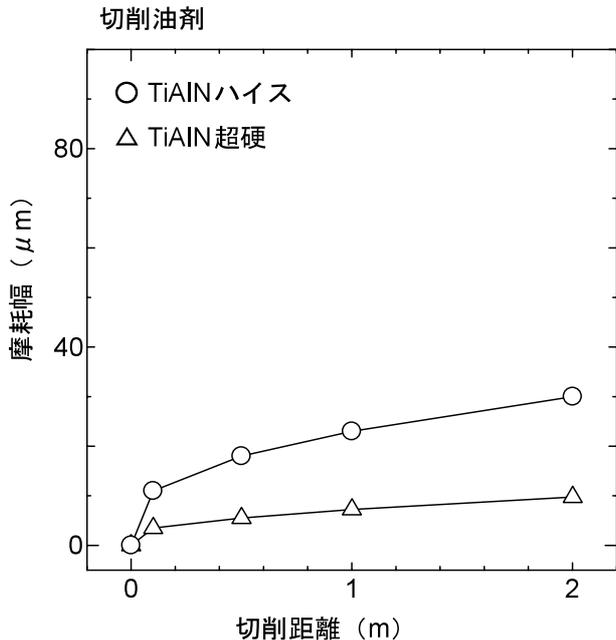


図4 摩耗幅と切削距離との関係

図4は、TiAlN コーテッド超硬工具及びTiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤における工具刃先の逃げ面摩耗幅と切削距離との関係を示す。図中の印は、TiAlN コーテッドハイス工具、印は、TiAlN コーテッド超硬工具の結果である。

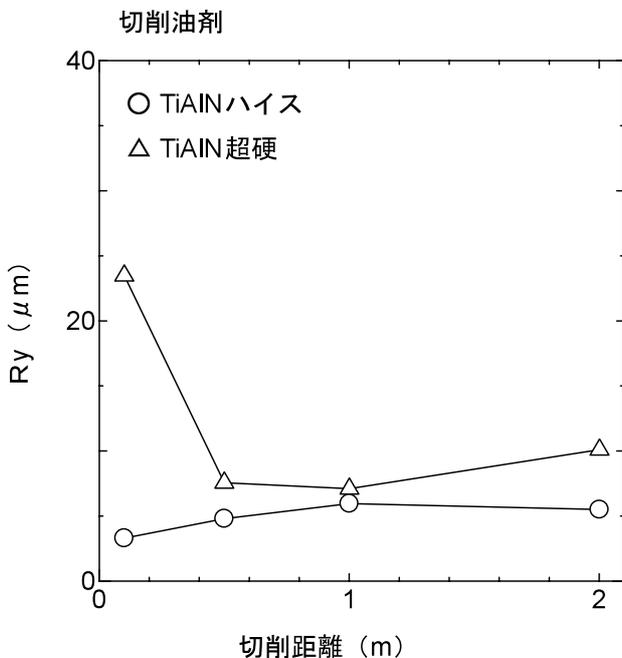


図5 表面粗さ (Ry) と切削距離との関係

図5は、TiAlN コーテッド超硬工具及びTiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤における工具刃先の逃げ

面摩耗幅と切削距離との関係を示す。図中の印は、TiAlN コーテッドハイス工具、印は、TiAlN コーテッド超硬工具の結果である。なお、表面粗さ (Ry) は、前述の結果と同様に、Y方向 (工具の軸方向) の表面粗さ (Ry) の値を示す。切削油剤を使用した場合、TiAlN コーテッドハイス工具は、良好な表面粗さの結果となった。

3.4 TiAlN コーテッド超硬工具及びTiAlN コーテッドハイス工具のミストにおける工具刃先の逃げ面摩耗幅、表面粗さ (Ry) と切削距離との関係

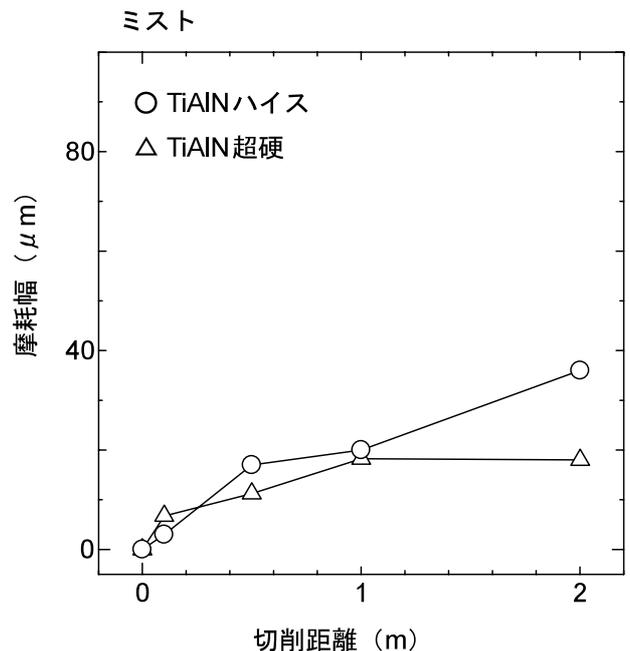


図6 摩耗幅と切削距離との関係

図6は、TiAlN コーテッド超硬工具及びTiAlN コーテッドハイス工具のミストにおける工具刃先の逃げ面摩耗幅と切削距離との関係を示す。図中の印は、TiAlN コーテッドハイス工具、印は、TiAlN コーテッド超硬工具の結果である。図より、ミストを使用した場合、TiAlN コーテッドハイス工具は、逃げ面摩耗幅が著しく大きい結果となった。

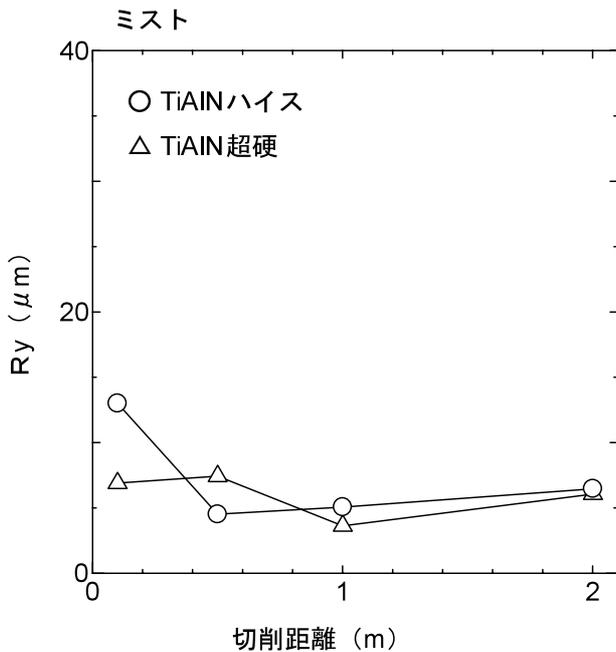


図7 表面粗さ (Ry) と切削距離との関係

図7は、TiAlN コーテッド超硬工具及び TiAlN コーテッドハイス工具のミストにおける工具刃先の逃げ面摩耗幅と切削距離との関係を示す。図中の ○印は、TiAlN コーテッドハイス工具、△印は、TiAlN コーテッド超硬工具の結果である。なお、表面粗さ (Ry) は、前述の結果と同様に、Y 方向 (工具の軸方向) の表面粗さ (Ry) の値を示す。図より、ミストを使用した場合、表面粗さ (Ry) は、同程度であった。

4. 結 言

TiAlN コーテッドハイス工具におけるステンレス鋼の切削油剤、ミストによるエンドミル切削加工実験を行い、切削油剤、ミストによる工具の摩耗状況、加工面 (表面) 粗さについて比較検討を行った。さらに、同じ工具メーカーであり、同一の表面処理である TiAlN コーテッド超硬工具と上記の TiAlN コーテッドハイス工具の切削油剤及びミストについて比較検討を行った。その結果は、以下のとおりである。

- (1) TiAlN コーテッドハイス工具において、切削油剤を使用した場合、切削距離 2 m において、逃げ面摩耗幅が、約 30 μm に対して、ミストの場合、逃げ面摩耗幅が、約 40 μm であった。表面粗さ (Ry) は、ミストよりも切削油剤の方がやや良好な結果となった。
- (2) TiAlN コーテッド超硬工具及び TiAlN コーテッドハイス工具を比較した場合、ミスト及び切削油剤の結果から TiAlN コーテッドハイス工具は、TiAlN コーテッド超硬工具に比べて冷却方法に関係なく、著しい摩耗が生じた。表面粗さ (Ry) の結果において、ミ

ストの場合は、同程度であったが、切削油剤を使用した場合、TiAlN コーテッドハイス工具は良好な結果となった。

文 献

- (1) 瀧内直祐：長崎県工業技術センター研究報告23 (1995) 134
- (2) 瀧内直祐：長崎県工業技術センター研究報告24 (1996) 108
- (3) 松永一隆、瀧内直祐：長崎県工業技術センター研究報告27 (1999) 30
- (4) 瀧内直祐、松永一隆：長崎県工業技術センター研究報告30 (2001) 51
- (5) 瀧内直祐、太田泰平：長崎県工業技術センター研究報告31 (2002) 54
- (6) 瀧内直祐、太田泰平：長崎県工業技術センター研究報告32 (2003) 53
- (7) 瀧内直祐、太田泰平：長崎県工業技術センター研究報告34 (2004) 51
- (8) 瀧内直祐、太田泰平：長崎県工業技術センター研究報告35 (2005) 43
- (9) 瀧内直祐、太田泰平：長崎県工業技術センター研究報告36 (2006) 41
- (10) 瀧内直祐、太田泰平：長崎県工業技術センター研究報告37 (2007) 38
- (11) 瀧内直祐、太田泰平：長崎県工業技術センター研究報告38 (2008) 28

ハイブリッド DLC 膜合成およびエッチング技術開発と応用化研究

次長兼応用技術部長 馬場 恒明
長崎大学工学部 助 教 森村 隆夫
(独)産業技術総合研究所中部センター グループリーダー 池山 雅美
ファインコーティング(株) 代表取締役社長 古田 英司
ダムシュタット工科大学 教 授 W. Ensinger

ハイブリッドダイヤモンドライクカーボン(DLC)膜作製法として、有機金属化合物を炭化水素プラズマ原料ガスに添加するとともに、マイクロ波、高周波などの外部プラズマ励起源を用い、基材に対し高電圧パルスを加えるプラズマソースイオン注入(PSII)法を用いた。そのために、先ず装置の改造を行い、種々原料および成膜条件を変えることによりDLC膜を作製し、成膜条件が膜構造および特性に及ぼす効果を明らかにした。また、スパッタ技術開発では、PSII法を基本原理とし、半導体製造プロセスで生成したダミー用シリコンウエハの再生、およびDLC膜をコーティングした各種治具の再生のために、生成膜を反応性スパッタにより高速で除去する技術開発を行い、これを多段化することによる量産化プロセスを開発した。

1. 緒言

半導体シリコンウエハサイズ300mm時代を迎え、研磨、搬送治具が大型化し、また研磨工程においては高い精度が要求されている。さらに治具が大型化するに伴い消耗部品のコストも高くなることから、コーティングなど表層改質による部品の高精度化、長寿命化が要求されている。このような産業ニーズに対し、DLC膜コーティングが適用され初められているがさらなる特性向上が望まれている。また、DLC膜は加熱により通常700K近傍からグラファイト構造への結晶化を始め、高温での使用に限界があった。

さらに、半導体製造において、工程管理のために商品とはならない多数のダミーウエハが用いられており、効率の良い製造を可能にするために、ダミーウエハの再利用プロセス開発が望まれている。また、DLC膜が産業に定着しつつあるが、再コーティングの必要性から、効率的なDLC膜の除去技術の確立が望まれている。

そこで、本研究では、保有しているプラズマとイオン注入に関するドライプロセス技術を要素技術として、このような産業ニーズに応えるために、従来の非晶質構造の中にナノハイブリッド構造を持つDLC膜作製技術開発、および反応性スパッタを用いた大面積スパッタ技術開発を行うものである。

なお、本研究は平成19年度から平成21年度までの3か年間の計画で行っており、本報は平成21年度の実施

研究内容についてまとめたものである。本報では、DLC膜の高機能化を目的にフッ素を添加したDLC膜を作製し、特性解析を行った。また、産業ニーズが高い細管内壁へのDLC膜コーティングについて検討した。さらに、DLC膜をコーティングした各種治具の再生のために、DLC膜のエッチング除去についても技術開発を行った。

2. 実験方法

2.1 含フッ素DLC膜の作製

薄膜作製に用いた装置は当所において開発したPSII装置である。薄膜作製用基板には、鏡面研磨したシリコンウエハ(100)およびステンレス鋼SUS304を用いた。PSII法によるDLC膜の作製方法は次のとおりである。DLC膜の炭化水素原料としてアセチレンガス(C_2H_2)を用い、フッ素を添加するために4フッ化メタン(CF_4)、フッ化ベンゼン(C_6H_5F)および6フッ化ベンゼン(C_6F_6)を用いた。基板に印加するバイアス電圧として、DC電圧は0と-2kVであり、パルスバイアス電圧は-18 - 16kVで、パルス周波数100Hz、パルス時間100 μ sである。これらを重畳した電圧を印加することによりイオン注入および薄膜作製を行った。

2.2 管内壁へのDLC膜作製

基板には、内径20mmおよび10mm、長さ100mmお

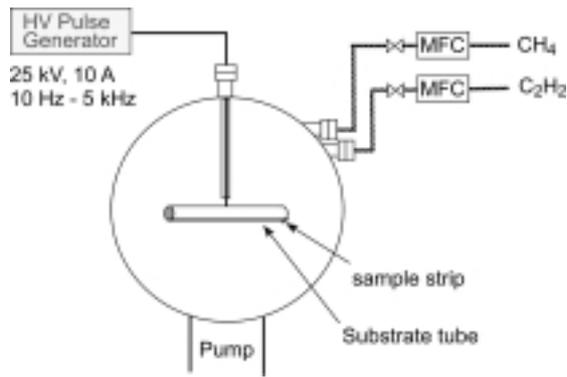


図1 管内壁処理用PSII装置

よび200mmのステンレス鋼を用い、分析用に約2mmのシリコンウエハストリップを管内部に設置した。炭素イオン注入用のプラズマ源としてメタンガスを用いた。パルス電圧条件は、電圧を-18kV、周波数1kHz、パルス幅10 μ sである。

DLC膜コーティングにはC₂H₂ガスを用いた。このときのパルス条件は、電圧-18kV、周波数100Hz、パルス幅100 μ sである。

2.3 DLC膜再コーティングのためのエッチング

厚さ約1 μ mのDLC膜をコーティングしたシリコンウエハ片を固定した300mm×300mm、厚さ1mmのステンレス鋼電極を縦方向に絶縁固定し、バイアス電圧印加用電線を接続した。エッチングには酸素ガスプラズマを用い、種々条件を変えてDLC膜の分解剥離速度を調べた。

2.4 表層分析および特性評価

PSII法により作製した薄膜の表面形態観察には走査型電子顕微鏡(SEM)および原子間力顕微鏡(AFM)を用いた。生成した膜の膜厚測定には断面SEMを用いた。表層の組成および化学結合状態の分析にはオージェ電子分析(AES)、二次イオン質量分析(SIMS)、Mg K α 線を励起源としたX線光電子分析(XPS)を用いた。またDLC膜の構造解析にはラマン分光を用

表1 FDLC膜の作製条件

No.	gas	Pulse voltage (- kV)	DC voltage (- kV)	Repetition (Hz)	Duration (s)	CH ₄ Implantation(h)	Process time(h)
1	CF ₄	18		1 k	10		1
2	CF ₄	18		2 k	5		1
3	CF ₄	18		100	100		3
4	C ₂ H ₂ F	18		1 k	10		2
5	C ₂ H ₂ F	18		100	100		2
6	C ₂ H ₂ F	18		1 k	10	1.5	0.3
		18		100	100		1
7	C ₂ H ₂ F	18		1 k	10	0.8	0.3
		16	2	100	100		0.7
8	C ₂ H ₂ F	18		100	100		1.2
9	C ₂ H ₂ F	18		100	100		1.3
10	C ₂ F ₆	16	2	100	100		2
11	C ₂ H ₂	18		100	100		2

いた。

表層の特性評価として、DLC膜の硬度測定には最大荷重200 μ Nとしたインデンテーション法を用いた。また、トライボロジー特性を評価するために、直径6mmのWCボールを用い、ボール・オン・ディスク試験機を用いて、荷重2Nでの摩擦係数を測定した。薄膜の環境遮断性について検討するために、5% H₂SO₄水溶液中でのサイクリックボルタムメトリー(CVM)測定を行った。

3. 結果と考察

3.1 含フッ素DLC膜

含フッ素DLC(FDLC)膜の作製条件を表1に示す。試料番号6および7については、薄膜作製に先立ちCH₄注入を行った。

作製した薄膜の表面をSEMで観察した結果、非常に平滑で、何ら特徴的な表面形態は観察されなかった。

DLC膜中のF原子の濃度および化学結合状態について調べるためにXPS分析を行った。FDLC6について、C1sおよびF1s光電子スペクトルを図2に示す。これらのピーク強度から、3.4at.%Fを含むDLC膜であることがわかった。C原子はC-C結合状態にあり、FはF-C結合状態に近いことがわかる。

図3に水の接触角に及ぼすDLC膜中のF濃度の効果について示す。Fを含まないDLC膜の接触角は約60°であり、F濃度増加に伴い大きくなり、F25at.%-DLC膜では98°まで増加している。ポリ四フッ化エチレンの接触角は115°であるので、F添加により撥水性が大きく付与されていることがわかる。

薄膜には種々の原因による欠陥があるため、1 μ m程度の薄膜で腐食環境における環境遮断性を付与することは困難である。そこで、Fを添加したDLC膜の撥水性を活かした環境遮断性付与効果について検討した。

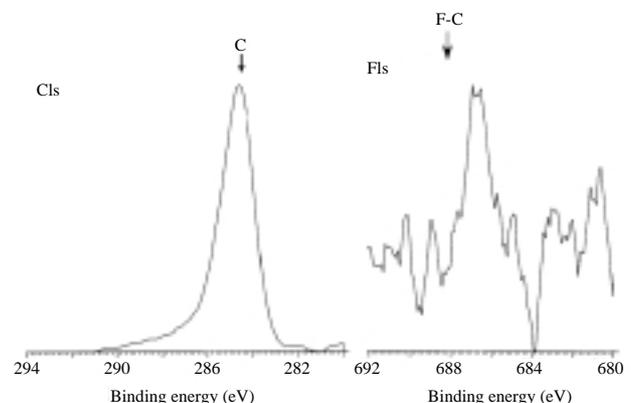


図2 XPSにより分析したFDLC6のC1sおよびF1s光電子スペクトル

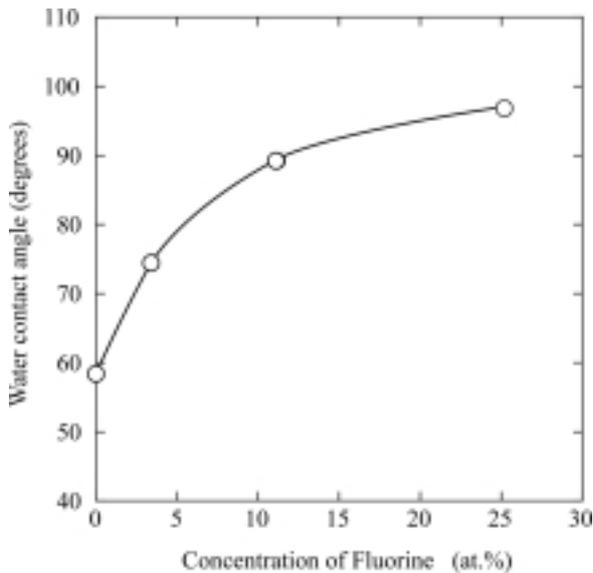


図3 水接触角のF濃度依存性

5% H₂SO₄水溶液中測定したCVMの第一掃引曲線を図4に示している。予めメタンイオン注入した試料では、電流密度は約3桁低く、環境遮断性が付与されていることがわかる。

F-DLC膜の耐摩耗性について調べるために、荷重2Nでボール・オン・ディスク試験を行った。その結果を図5に示している。C₆F₆から作製した25.2at.%F-DLCでは、測定初期においては低い摩擦係数を維持しているが、2000回から急激な増加を示している。一方、C₆H₅Fから作製した3.4at.%F-DLC膜ではパルス電圧とDC電圧の重畳の有無に関わらず0.05から0.1の低い摩擦係数が得られており、高い撥水性と優れたしゅう動性が得られていることがわかる。

3.2 管内壁へのDLC膜作製

図6にSIMSで分析したCH₄注入後の内径10mm、

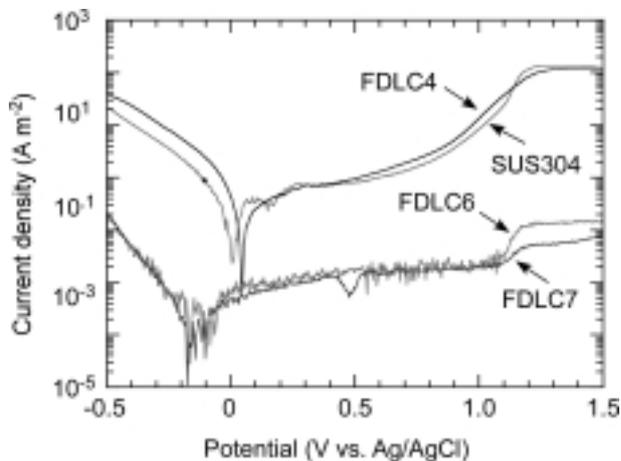


図4 5% H₂SO₄水溶液中で測定した分極曲線

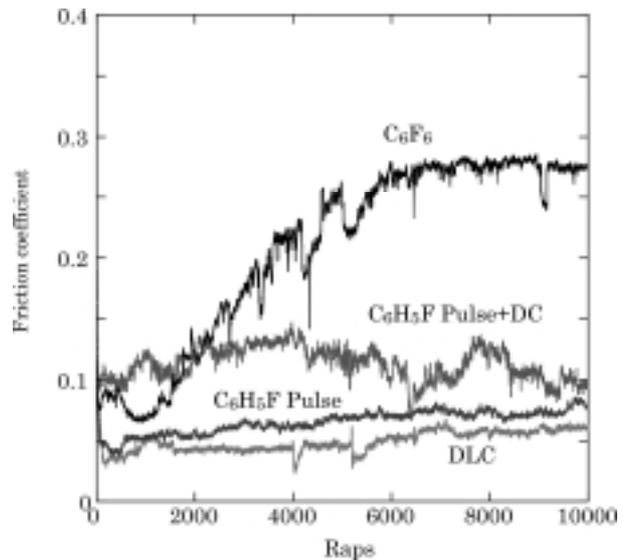


図5 DLCおよびF-DLC膜のボール・オン・ディスク試験結果

長さ200mmのステンレス管の両端と中央内壁のCおよびHの深さ分布を示している。何れの位置においてもCH₄の構成元素であるCおよびHが注入されていることがわかる。

DLC膜の管内壁への均一膜厚コーティングの可能性について調べた。図7に内径20mmおよび10mm、長さ100mmおよび200mmのステンレス鋼管内壁に生成したDLC膜の厚さの位置依存性を示している。

何れの管についても内壁全面にDLC膜が生成しており、また膜厚の違いも小さい。

以上の結果から、管内壁に対し、イオン注入およびDLC膜コーティングが可能であることがわかる。

3.3 DLC膜再コーティングのためのエッチング

プラズマによるエッチングにはアルゴンプラズマに

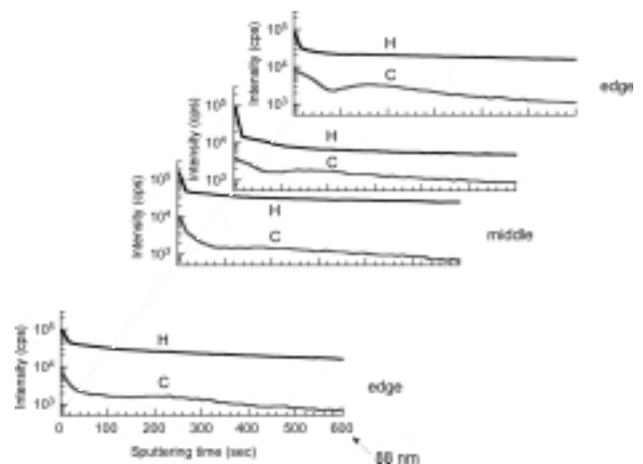


図6 SIMSで分析したCH₄注入後の内径10mm、長さ200mmのステンレス鋼管内壁のCおよびHの深さ分布

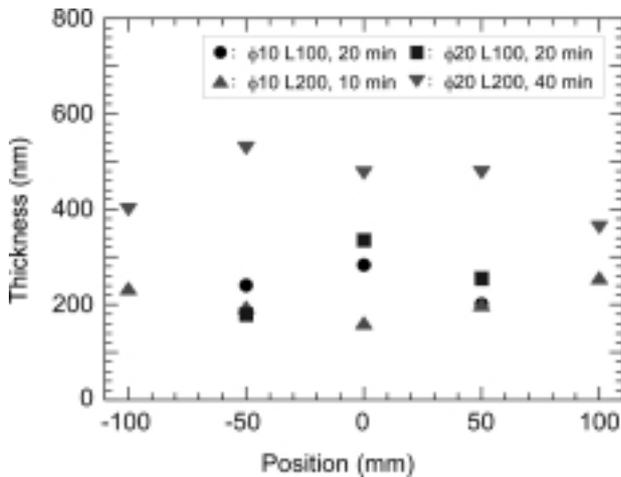


図7 C₂H₂プラズマにより作製したステンレス鋼管内壁のDLC膜の厚さ

代表される物理エッチングと活性種による化学エッチングがある。DLC膜の再コーティングのためには既存の膜を剥離する必要があり、DLC膜は炭素から成るので、酸素プラズマによる化学エッチングが効果的であることが予測される。図8にDLC膜のエッチング速度に及ぼす導入酸素ガス流量依存性を示す。ガス濃度増加に伴いプラズマ密度が増すが、一方ガス濃度増加に伴い気相に存在する種の平均自由行程が短くなり、DLC膜に衝突する酸素イオン、ラジカル数が減少することによりエッチング速度が減少すると考えることができる。

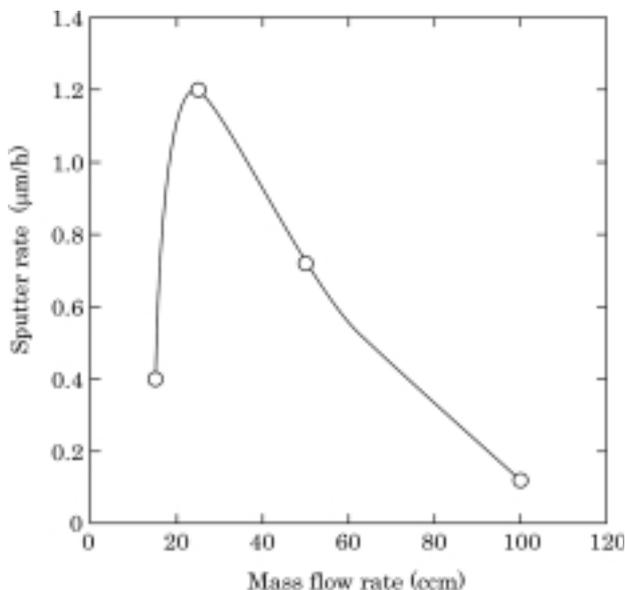


図8 酸素プラズマによるDLC膜のスputタ速度のガス導入量依存性

4. 結 言

本研究において、ハイブリッドDLC膜合成およびエッチング技術開発と応用化に関する技術開発を行った。3ヶ年間の研究成果を以下に要約する。

- (1) DLC膜作製の原料としてアセチレンガスに加えて種々の濃度のTMSを用いることにより、種々のSi濃度を持つDLC膜を作製し、TMS濃度が膜組成、膜構造に及ぼす影響が明らかとなった。
- (2) Siの添加はDLC膜の加熱結晶化を抑制し、DLC膜の高温での使用が可能となった。
- (3) Si添加により摩擦係数が減少し、24at.%Si-DLCにおいて0.03の低い摩擦係数が得られた。
- (4) DLC膜などコーティング膜の除去を行うために、アルゴンガスおよび酸素ガスによるプラズマを用いて、PSII法によりエッチングを行い、大面積への適用が可能であることが明らかとなった。
- (5) DLCコーティングをスクリーンマスクに適用し、従来品より性能が大きく改善された。
- (6) フッ素を添加したDLC膜作製と特性解析を行った。この膜は硬質で撥水性である。
- (7) 複合場プラズマを用いたPSII法により、大面積基材への硬度30GPaの高硬度低摩擦係数DLC膜作製技術を開発した。
- (8) シリコンウエハ再生およびDLC膜再コーティングのためのプラズマエッチング技術開発を行い、300mmサイズウエハの10枚同時エッチングが可能となった。
- (9) チューブ内壁面へのイオン注入、DLC膜作製技術を開発した。

植物バイオマスを活用した熱硬化性樹脂の開発

工業材料科 主任研究員 市瀬 英明
工業材料科 科 長 瀧内 直祐

本県は、未利用天然資源（植物バイオマス）が豊富な地勢にある。しかし、その利活用については十分とは言えないのが現状である。循環型社会構築の観点から、植物バイオマスを活用した環境調和型材料の開発と利用技術の構築が望まれている。本研究では、平成20年度から3か年の計画で、植物バイオマスを活用した熱硬化性樹脂の開発と、接着剤（バインダー）としての応用検討を行う。初年度は、木質資源をフェノール樹脂の合成原料として活用することを目指して、フェノールを用いたヒノキ材の加溶媒分解を行い、木材の液化率に及ぼす操作条件や原料配合比率等の影響について明らかにした。今年度は、得られた液化木材を基材としたフェノール樹脂硬化物を調製し、その機械的特性を評価した。その結果、液化木材をヘキサメチレンテトラミンにて硬化させたフェノール樹脂硬化物は、市販のフェノール樹脂成形品と同等程度の機械特性を有することがわかった。

1. 緒言

本県は、未利用天然資源（植物バイオマス）が豊富な地勢にある。しかし、その利活用については十分とは言えず、利用率も依然として低調な状況にある。木材は、金属やプラスチックのように加熱により軟化して流動することがない。そのため自由に熱圧成形し難く、加工法が限定されている。よってその用途は狭い範囲に留まらざるを得ない。特に製材廃材や、林地に残存する間伐材のような未利用材の有効利用を考えると、従来の加工法では限度があり、新規な方法・技術が求められている。そこで本研究では、木質バイオマスを活用した熱硬化性樹脂の開発を行い、その応用として接着剤への展開を目的とした検討を実施する。本年度は、木質資源をフェノール樹脂の合成原料として活用することを目指して、フェノールを用いたヒノキ材の加溶媒分解を行った。また、それに引き続き、得られた液化木材を基材としたフェノール樹脂硬化物を調製し、その機械的特性を評価したので報告する。

2. 実験方法

2.1 試料及び試薬

加溶媒分解に用いた鋸屑状のヒノキ材は、予め分級し、18meshを通過したものを105℃で恒量になるまで乾燥して使用した。他に用いた試薬類は市販品をそのまま使用した。

2.2 木材の液化

ヒノキ材と予め融解させたフェノールの所定量（ヒ

ノキ材100重量部に対し、フェノール50、100、および200重量部）を秤量し、均一に混合した。これを200ml容ステンレス製反応容器に充填した。その後、所定の温度で180分間、密閉状態で反応させた。反応終了後、反応物を容器から取り出し、未分解の木質部を除去することなく液化木材として得た。

2.3 液化木材の硬化（プレス成形）

液化木材にヘキサメチレンテトラミンを8%添加し、十分に混合攪拌した。混合物をステンレス製型枠に封入し、東洋精機(株)製卓上小型プレスで加熱プレスすることにより硬化物を得た。プレス条件は、温度；170℃、時間；10分とした。プレス圧力は250kgf/cm²を目安としながら、目標比重に応じて若干の調整を行った。

2.4 測定と分析

【液化率】得られた液化木材を、テトラヒドロフラン（THF）で洗浄した。濾別後、その残渣を既報¹⁾²⁾に準じて処理して液化率を算出した。

【比重】既報²⁾に準じて液浸法により測定した。

【硬度】硬化物の硬度は、ロックウェル硬度計（(株)明石製作所製 ARK-F1000）を用いて、Mスケール（基準荷重98.07N、試験荷重588.4N、圧子φ6.350mm鋼球）で測定した。

【曲げ特性】JIS K6911に準じ、卓上型オートグラフ（島津製作所製 AGS-5 kNA）を用いて3点曲げ試験を行った。

3. 結果と考察

前報²⁾より、ヒノキ間伐材から得られた液化木材のうち、液化率が7割程度以下のものは、図1に示すとおり、常温ではその性状は液体ではなく、黒変した未分解の木質部にタール状の液化部が絡み合った固液混合物である。また、反応温度が高いほど、また木質原料に対するフェノールの添加量が多いほど、高液化率であることがわかっている。



図1 部分的に液化した木材の性状 (Phenol/Wood=1/1, Temp. =175°C (左前) 225°C (右奥))

今回は、図1のような固形状の部分液化木材にヘキサメチレンテトラミンを混合し熱プレスすることにより、硬化させた。硬化モデルは図2のとおりである。

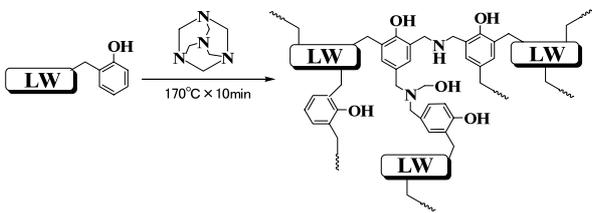


図2 液化木材の硬化モデル

得られた液化木材硬化物の機械的特性を表1に示す。また、使用した液化木材の調製条件とその液化率を表2に示す。この結果から、フェノール/木材配合比が同じ条件で液化させた部分液化木材は、液化反応温度が高い試料ほど(液化率が高い試料ほど)その硬化物の機械的特性が高いことがわかった。(試作No.1, 2, 3)

また、液化反応温度を200°Cに保った場合、若干ではあるが、今回の条件では、フェノール/木材配合比が高く、液化率も高い試料の方が、高い機械的特性を示すことがわかった。(試作No.2, 4)

前報²⁾では、木材の液化物は分子量分布を有するオリゴマー (Mw699, Mw/Mn=4.45) であることを報告している。このため、液化率が高い液化木材であるほど、硬化と樹脂化に寄与し得るフェノール樹脂前駆体が多く含まれており、結果として硬化物の機械的

性の向上に寄与しているものと考えられる。

なお、試作No.5の硬化物は非常に脆かった。そのため、曲げ試験や硬さ試験において、試験片が試験治具でそばろ状に押し崩されてしまい、適切な試験結果を得ることが出来なかった。これは、硬化前の原料組成物が、液化率が極端に低く、ほぼ生木粉と思われる粉体に若干のフェノールモノマーが含浸されている状態だったため、硬化剤を混合して熱プレスしても硬化反応が十分に進行できなかったためと考えられる。

表1 液化木材硬化物の機械的特性

試作 No.	1	2	3	4	5	フェノール樹脂 (木粉充填) ³⁾
比重 [g/cm ³]	1.40	1.41	1.40	1.39	1.41	1.37~1.46
曲げ強さ [MPa]	38.9	49.1	58.3	52.2	19.8 (参考値)	48.3~96.6
曲げ弾性率 [MPa]	6620	7250	7920	7430	*	6990~8280
硬さ HRM	106	119	118	116	*	100~115

* : 測定不能

表2 使用した液化木材の調製条件と液化率

試作 No.	1	2	3	4	5
反応温度 [°C]	175	200	225	200	200
フェノール/木材 配合比 [-]	1/1	1/1	1/1	2/1	0.5/1
液化率 [%]	40.3	64.5	78.5	78.5	32.5

4. 結言

1) 液化木材のヘキサメチレンテトラミン硬化物は、概ね、市販のフェノール樹脂成形品と同等の機械特性を有することがわかった。

2) 液化木材は、液化反応温度が高いほど(液化率が高いほど)その硬化物の機械的特性が高いことがわかった。

3) 液化木材は、フェノール/木材配合比が高いほど(液化率も高いほど)その硬化物の機械的特性が高いことがわかった。

参考文献

- 1) 市瀬英明, 古川睦久, 日本接着学会誌, **44**(7), 252 (2008)
- 2) 市瀬英明, 瀧内直祐, 長崎県工業技術センター研究報告, **38**, 36 (2009)
- 3) 本間精一, “プラスチックポケットブック”, 工業調査会, 119 (2005)

シミュレーション技術を活用した分子構造基盤薬物設計の研究

工業材料科 主任研究員 重光保博

タンパク質や DNA 等の生体分子をターゲットとした高精度量子計算手法の活用を通じて、創薬分野へのシミュレーション技術導入が積極的に試みられている。次世代創薬技術として実験プロセスをシミュレーションで代替する *in silico* 創薬技術への移行が期待される。本研究では、原子電子レベルシミュレーションをいくつかのモデル系に対して実行し、その有効性を検討する。

1. 緒言

新薬開発の最初のステップは候補化合物を効率よく発見することであるが、特定分子種に偏らないよう化学的多様性を有する候補化合物をバランス良く選出することが後の最適化ステップにおいて重要となる。創薬の現場では、大規模な化合物ライブラリをコンビナトリアルケミストリ (CC) で合成し、その活性をハイスループットスクリーニング (HTS) によって高速に判定する手法が普及している。しかし偶発的発見に頼る絨毯爆撃的探索では、膨大なコストに見合う成果を出すことがしだいに困難になっている。コンビナトリアルケミストリでは、化学的多様性を十分に反映させることが難しいことがその一因である。この問題解決のため、ケモインフォマティクスやシミュレーション手法の導入による探索効率化が模索されている。

標的タンパク質や候補化合物の立体構造情報に基づいた創薬 (SDBB) は、探索効率化の有力な手法であり、第一原理シミュレーションの活用が期待されている。現代の量子力学計算は、以前はアプローチ不可能であった生体高分子をその解析ターゲットとしつつある。薬効発現は複雑な代謝系を構成する高度に組織化された化学反応群から構成されており、各反応に関与する化合物の分子原子レベルの知見によって記述されるため、信頼性の高い創薬技術には量子力学に基づく第一原理シミュレーションが必要となる。SDBB の現場では、候補化合物の構造情報 (Ligand-base) や標的タンパク質の構造情報 (Structure-base) を用いて、化合物ライブラリの精密化が試みられている。実際 G タンパク質共役受容体 (GPCR) に対する Structure-base フォーカストライブラリが構築され、探索効率化が実証されている [1]。疾病の標的タンパク質やリガンドの多くはその構造が未知であるが、第一原理生体分子シミュレーションはこのような場合において SDBB

を可能にする汎用的手法として期待される。

2. 手法

2.1 Fragment MO (FMO) 法 [2]

従来の古典的計算法では、計算精度が不十分なため SDBB には信頼性限界がある。一方、高精度な第一原理計算は計算負荷が大きいため、巨大系に対応した理論と計算手法が必要となる。FMO 法はこの問題を解決する有力な手段であり、巨大分子を小さな構造単位 (Fragment) で分割し、各 Fragment の個別エネルギーを用いて、全系のエネルギーを外挿する手法である。計算コストを大きく軽減しつつ、従来の第一原理計算と同等の定量精度を保持しているため、水素結合や CH/ π 結合などの弱い相互作用が重要となる生体高分子の計算にも適応可能である。Fragment 間の相互作用も解析でき、タンパク質 - リガンド結合をアミノ酸残基単位で求めることができる利点もある。インフルエンザウイルスのヘマグルチニン蛋白質 - 受容体の相互作用解析 [3] などに適用され、生体分子を対象にした大規模高精度シミュレーションの有効性検証が進んでいる。

2.2 DJ - 1 タンパク質 [4]

ChainA/B からなる小タンパク質 DJ 1 (約22kDa, 378残基) は、家族性パーキンソン病 PARK 7 因子をはじめ、活性酸素制御、生殖機能、乳がんバイオマーカーなど様々な機能に関与していることが報告されている。Chain A 中に存在する Cys106の酸化による変異が重要な役割を果たしていると考えられ、このサイトに結合するアンタゴニストを *in silico* スクリーニングを用いて化合物ライブラリから絞り込み、水晶振動子マイクロバランス法で求めた結合親和性と一致した結果が得られている [4]。酸化型 / 還元型 DJ 1 のそ

れぞれに対して、約30000個の化合物ライブラリから、酸化型 / 還元型の C106 サイトとのドッキングスコアが高い化合物 (Compound A, Compound B)、酸化型とのドッキングスコアが低い化合物 (Compound C) のバーチャルスクリーニングを実行し、それらのサイト親和性が実験結果と一致することが示されている[4]

3 . 解析結果

本報告では、(1) 活性サイト C106 近傍の立体構造解析 (2) リガンド化合物 Compound A,B,C の電子状態解析を行った。

還元型 DJ 1 は Honbou らによる dimer データ (1 UCF) [5], 酸化型 DJ 1 は Blackinton らによる monomer データ (3 EGZ) [6] をそれぞれ用い、分子動力学法により系を平衡化させて平均構造を求めた。活性中心 C106 の硫黄原子 (S764) 近傍 3.5 オングストローム以内に存在するアミノ酸残基は、それぞれ GLU18 / HIS126 / ARG156 (還元型)、GLU18 / GLY75 / HIS126 / ARG156 (酸化型) であった。酸化に伴う大きな構造変化は起こっていないと考えられるが、酸化型では GLY75 の O536 が近接領域に入ってくる。これはスルフィン化に伴う微妙な構造変化を反映していると考えられる。還元型においては、C106 近傍には Chain B は存在せず、Chain 間の相互作用が及ぼす影響は無視できると考えられる。C106 は Chain A の表層部に位置しており、ちょうど HIS126 のイミダゾール基が「蓋をする」構造をとっている。S764 との主要な相互作用は HIS126 (N899) と推定され、硫黄原子のソフト性を考慮すると静電力のみではなく、 $\pi\pi$ や $\sigma\pi$ といった軌道相互作用が大きな役割を果たしていると推定される。

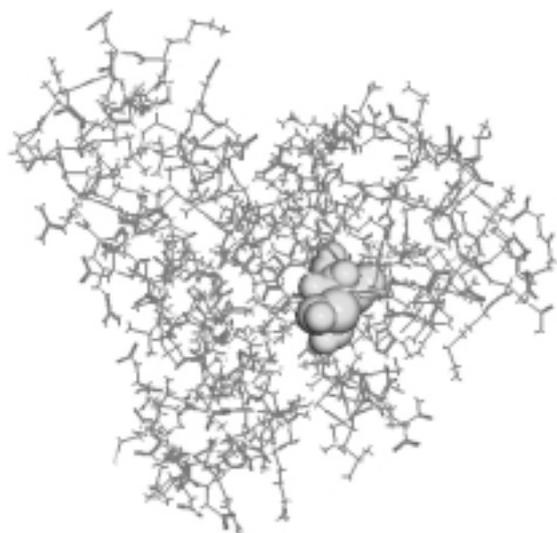


Figure 1 . DJ 1 タンパク質 (3 EGZ: Chain A) の構造と活性サイト C106 (酸化型)

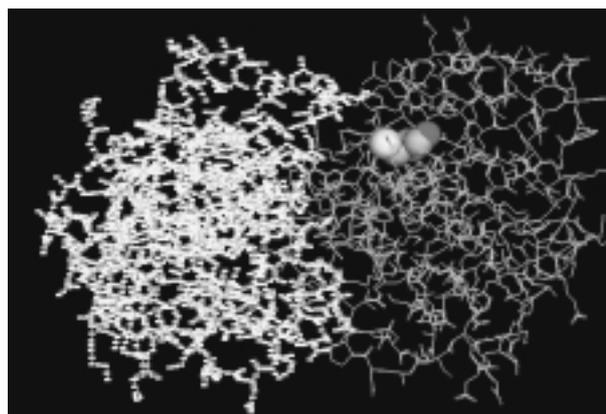


Figure 2 . DJ 1 の Chain A (stick 表示) と Chain B (黄色標記) および活性サイト C106 (CPK 表示 (還元型))

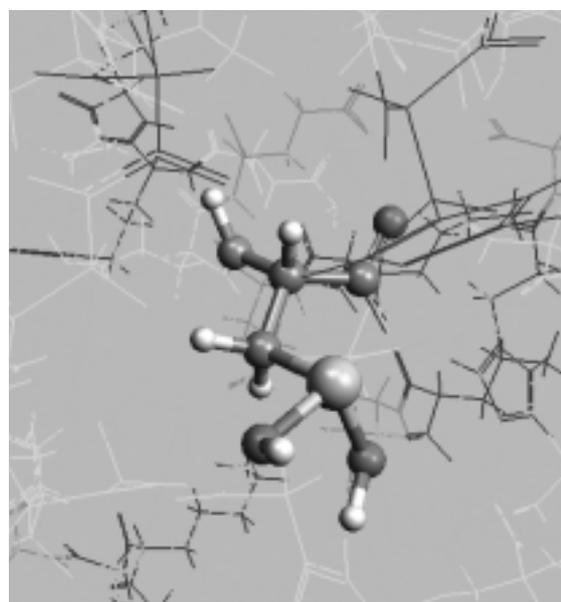


Figure 3 . DJ 1 の活性サイト C106 の拡大図 (酸化型)

活性化合物 (Compound A , B) および非活性化合物 (Compound C) について、量子化学計算により分子構造および電子構造を解析した。分子骨格の相補性が構造フィッティングにおいて重要であるが、フィッティング時のエネルギー安定化に関しては電子的相互作用が主要な役割を果たす。この点を明らかにするため、DFT (B3LYP) / 6-31G (d , p) 計算により HOMO/LUMO エネルギーレベルを求めた。低活性の Compound C は、顕著に低い LUMO レベルのため大きな Electron acceptor 能が示唆される。高活性の Compound A , B はそれぞれの分子末端に HOMO/LUMO 分布を有しているのに対して、Compound C では分子中央部に分布している。この分布の違いは、タンパク質 - リガンド相互作用においてフィッティング形状を決定する重要な要素と考えられる。Compound C は分子末端に HOMO/

LUMO 分布を持たないため、酵素ポケットとの相互作用ができず活性が低いと推測される。次に、各化合物の電荷分布から静電ポテンシャルを求め、フィッティング形状との相補性を考察した。高活性の Compound A, B については、分子末端に負のポテンシャル領域が存在するのに対して、低活性の Compound C の負ポテンシャル領域は分子中央に存在している。

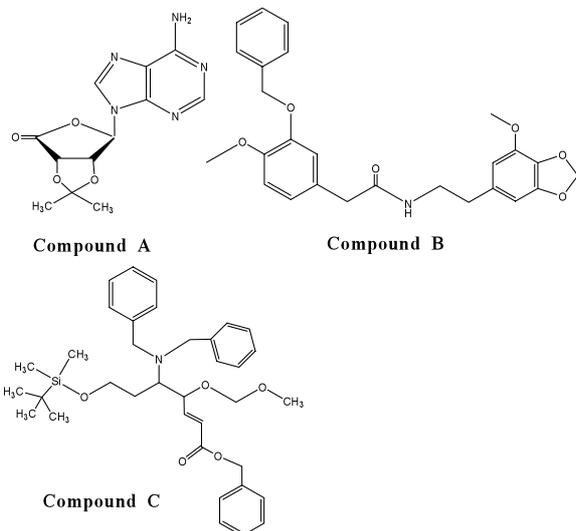


Figure 4 . リガンド化合物

Table1 .HOMO/LUMO levels of Compound A,B,C

entry	HOMO α (a.u.)	LUMO α (a.u.)
Compound A	0 .1407	0 .0630
Compound B	0 .1066	0 .0737
Compound C	0 .1101	0 .0471

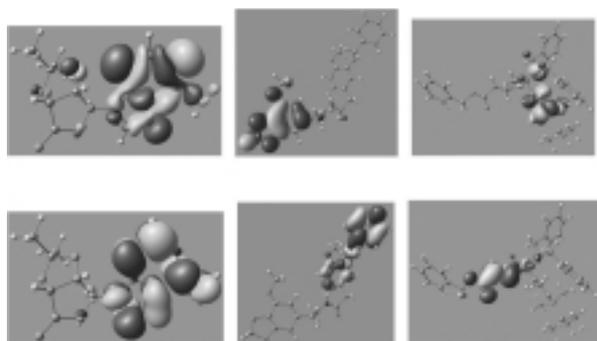


Figure 4 . HOMO (上) / LUMO (下) の分布。Compound A (左), Compound B (中央), Compound C (右)

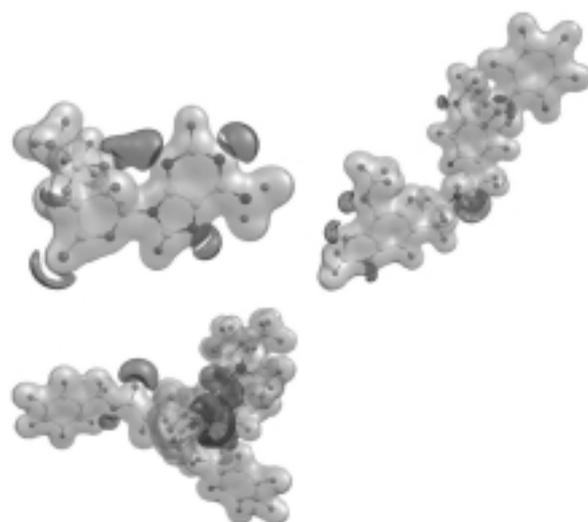


Figure 5 . 各化合物の静電ポテンシャル : Compound A (左上), Compound B (右上), Compound C (左下)

4 . 結 言

本研究では、第一原理計算に基づく高精度 *in silico* スクリーニングの有効性の確認、すなわち予測結果の改善を検証することが最終目的である。今回、DJ 1 をターゲットとした予備計算を行った。(1) DJ 1 の Cys106近傍の残基配置の解析 (2) 活性 / 非活性化合物 Compound A, B, C の電子状態計算を行い、鍵 - 鍵穴フィッティングの重要な情報である HOMO / LUMO 軌道分布や静電ポテンシャル分布を求めた。今後、Compound A, B, C の安定配座の数種類についてドッキングシミュレーションを実行し、タンパク質 - リガンド間の相互作用を詳細に分析する。

参考文献

- [1] 古谷利夫, *CICSJ Bulletin* 23 ,143 (2005)
- [2] 北浦和夫, 近畿化学協会コンピューター化学部会例会資料 (2007)
- [3] J.Iwata, U.Mochizuki, S.Tanaka et al., *Comp.Biol. Chem.*, 32,198(2008)
- [4] S.Miyazaki, T.Yanagida, M.Ariga et al, *J.Neurochemistry*, 105, 2418 - 2434(2008)
- [5] K.Honbou, N.N.Suzuki, M.Horiuchi et al., *J.Biol. Chem.* 278 31380 (2003)
- [6] J.Blackinton et al, *J.Biol.Chem.* 284 6476 (2009)

海水魚の閉鎖循環型大規模陸上飼育システムの構築

食品・環境科 専門研究員 大 脇 博 樹
総合水産試験場 環境養殖技術開発センター 養殖技術科 科 長 山 本 純 弘

要 旨

養殖漁業の需要が年々増えていること、より高付加価値な魚種の生産が必要となっていること等から、陸上養殖の必要性は高くなっているが、生物濾過に依存した従来の陸上養殖システムには問題点も多く、陸上養殖はそれほど普及していないのが現状である。そこで本研究では、海水を電解することによって生成する次亜塩素酸を利用した新規海水浄化装置の開発と、その新規浄化装置を利用した新規陸上養殖システムの構築を目指している。本報では、実際の陸上養殖の際に問題になると思われる、二酸化炭素の除去装置に関する検討結果について報告する。

1. 緒 言

沿岸漁業による水揚げ量は年々減少しており、養殖による魚類生産が年々増えてきている。魚類養殖には、海面を利用する海面養殖と陸上で実施する陸上養殖があり、それぞれに長所と短所がある。

海面養殖は、自然に近い環境の下で育成できること、初期投資が陸上養殖に比べて安価であること、といったメリットがある一方、台風や赤潮、気候等の自然による影響を受ける重労働であるという問題があった。

陸上養殖は、飼育するための大規模な水槽や濾過システムの設置が必要であることから、大きな初期投資が必要となること、生物濾過を行うための大量の濾材の洗浄が非常に大変なこと、魚病に対する対策が大変なこと等の問題点はあるが、陸上で作業ができるため作業が楽であること、天候や赤潮等の外的要因を排除できること、といった海面養殖のデメリットを解決できるほか、温度調節ができるため短期間で飼育魚を大きくできること（生産性の向上）、全ての飼育条件を管理できること、といった大きなメリットがある。また、水産養殖業においては、出荷量の増大に伴って単価の下落が起こるため、より付加価値の高い魚種へと移行していく必要に迫られており、新しい魚種の種苗生産の要望が高いが、陸上でなければ種苗生産が困難な魚種もあり、陸上で海水魚を飼育できる技術が必要となっていた。

従来の陸上養殖システムは、魚から排出される糞や鱗等を飼育水から取り出すための物理濾過槽、魚にとって有害なアンモニアを微生物の力を借りて害の少ない硝酸に変換するための生物濾過槽、蓄積する窒素

成分を除去するための脱窒槽、脱色や殺菌を目的としたオゾン処理装置もしくは紫外線処理装置、過剰なオキシダントを除去するための活性炭槽、温度を調整するための熱交換器、飼育水槽中のタンパク質等を除去するための泡沫処理装置等、多くの装置を接続することで、陸上での海水魚の飼育を可能としてきた。

本研究担当者らは、平成18～20年度の3ヵ年、海水電解により生成する次亜塩素酸とアンモニアの反応により、アンモニアから直接窒素に変換させることで飼育水槽中に窒素成分を蓄積させない海水浄化システムを開発してきた。このシステムは、微生物を利用する従来の濾過システムとは本質的に異なり、省スペースで低コスト、濾材の交換等の重労働が無い等、陸上養殖のための海水浄化技術を革新できるシステムとなりうる可能性を秘めている。

本研究開発では、この新規海水浄化システムを用いた大規模陸上養殖を実現することを目指し、実際の完全閉鎖循環型陸上養殖において問題になると思われる海水中への二酸化炭素の蓄積に対する対策と寄生虫対策について検討する。

本年度は、電解技術を用いた脱炭酸装置の試作と評価を行ったので、その結果について報告する。

2. 実験材料及び実験方法

2.1 実験材料および使用機器

実験には、人工海水（マリンアート SF 1：富田製薬(株)）と長崎県総合水産試験場の砂ろ過海水を使用した。電気分解槽は独自に設計・製作したものを使用し、電極として白金修飾チタン（田中貴金属(株)製）を使用

した。

溶存態二酸化炭素濃度の測定には、(株)東興化学研究所製 TiN 9004を、pH の測定には、東亜ディーケーケー(株)製 HM 26S を使用した。

2.2 実験方法

2リットル容の広口ボトルに人工海水2リットルを入れ、所定のpHになるように1N-HCl水溶液で調整した後、その海水中に市販の散気管を通じて1L/minの流量で空気を曝気し、所定の時間毎に人工海水の溶存二酸化炭素濃度とpHを計測した。

図1に示した新規電解槽の実験システムを構築し、海水電解条件を変更しながら、電解槽から排出される過海水のpH変化を計測した。

3. 結果と考察

3.1 曝気による海水のpH変化

図2に、空気曝気3時間後までの人工海水のpH変化と溶存二酸化炭素濃度の変化を示した。溶存二酸化炭素濃度は、pH調整直後の濃度値を100とした場合の値を示した。

調整した人工海水のpHは8.4で、空気曝気3時間後もほとんどpH変化は認められなかったが、溶存二酸化炭素濃度は若干増加した。曝気する前の人工海水のpHを下げるに従って、曝気後の溶存二酸化炭素濃度は減少する傾向にあったが、pHを4.0に調整した以外は、曝気によってpHが高くなった。

この実験結果より、海水中に溶存している二酸化炭素の濃度を効率良く減少させるためには、海水のpHを5以下まで下げる必要があることが明らかとなった。

図2中のpH4.0の点線は、10分間隔でpH測定した結果であるが、曝気10分後でも溶存二酸化炭素濃度は初期値の26%まで低下しており、比較的短時間で溶存二酸化炭素の除去が可能であることが明らかになった。現在検討中の海水浄化システムでも、10分程度の滞留時間は確保することができるため、本方式は十分利用できるものと思われる。

3.2 電解による海水のpH変化

白金電極を用いて海水を電気分解すると、陰極表面で水素が発生して電極近傍の溶液pHは高くなり、陽極表面では次亜塩素酸が生成して電極近傍の溶液pHは低くなる。この溶液を分離できれば、pHの低い海水を単離することが可能となる。今回の実験では、試作した電解槽を用いて、海水のpHを1以上低下させ

ることに成功した。未だいくつかの問題点があり、今後改良した電解槽を用いて評価を継続する予定である。



図1 新規電解槽の実験システム

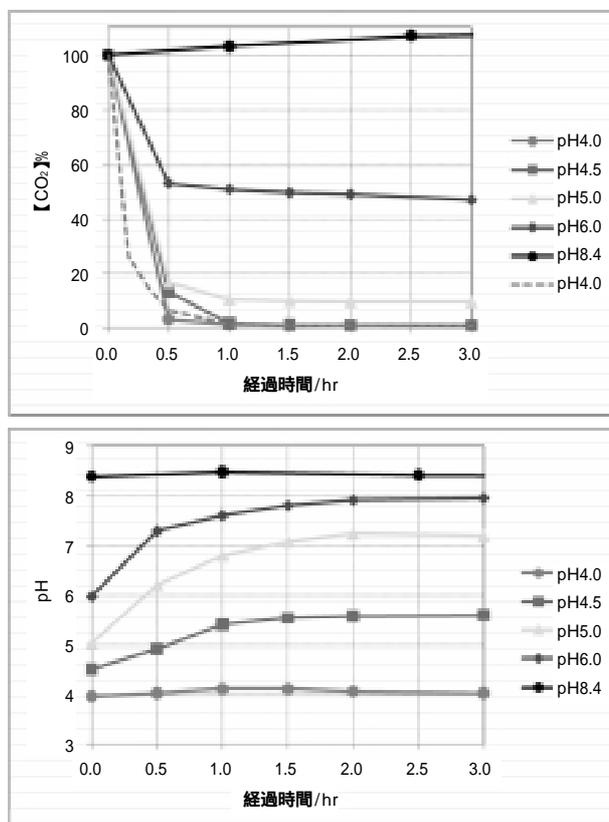


図2 pH調整した人工海水に空気を曝気した際の溶存二酸化炭素濃度とpHの変化

4. 結言

今回の評価で、構造を工夫した電解槽による海水電解によって、養殖海水中に蓄積する二酸化炭素を除去できる可能性が高いことがわかった。今後、装置化に向けた検討を継続する予定である。

アコヤ貝真珠層タンパク質を配合したスキンケア商品の開発 真珠層不溶性タンパク質の機能に関する解析

食品・環境科	専門研究員	晦 日 房 和
長崎大学水産学部	教 授	原 研 治
長崎大学水産学部	教 授	長 富 潔
長崎大学先導生命科学研究支援センター	教 授	松 田 尚 樹
広島大学薬学部	教 授	杉 山 政 則

長崎県の真珠生産量は全国でもトップレベルである。しかしながら、養殖後のアコヤ貝貝殻が大量に排出され、その有効利用が望まれている。本研究では、貝殻真珠層のタンパク質の生理作用について調べた。真珠層の大部分を占める不溶性タンパク質を回収し DPPH ラジカルへの影響を調べたところ、ラジカル消去作用があることがわかった。

1. 緒 言

長崎県の真珠生産量は8.9トン（H17年）と全国第2位で、年間約2700万個のアコヤ貝が養殖されている。その結果として500トン以上の貝殻が排出されるが、殆ど利用されていないのが現状である。

真珠及び貝殻真珠層は炭酸カルシウムを主成分としている。一部コンキオリンと呼ばれるタンパク質をはじめ多糖などの有機物質を含んでおり、それらはアコヤ貝外套膜からその成分が分泌される。貝殻は構造的に外側の稜柱層は方解石（calcite）、一方、内面の真珠層はアラレ石（aragonite）という結晶構造をなしており後者は真珠と同様である。これらの結晶の形成はコンキオリンタンパク質によって制御されていると考えられている。

一方、コンキオリンのその他の作用として、その加水分解したアミノ酸は保湿性などの作用があることから化粧品原料として使用されている。また、ホタテ貝の貝殻タンパク質にはいくつかの生理活性があることが報告されている[1,2]。このように、アコヤ貝貝殻真珠層を構成するタンパク質などの有機物質の中には多種の生理作用を示すものが存在している可能性が考えられる。

そこで本研究では養殖後のアコヤ貝貝殻の有効活用を目的に、真珠層の中でも不溶性タンパク質の機能に着目し、抗酸化作用を調べた。

2. 方 法

2.1 研究材料

研究材料となるアコヤ貝貝殻は養殖後のものを使用

した。貝殻外側の稜柱層を研磨した真珠層を粉碎して試料とした。

2.2 アコヤ貝貝殻真珠層タンパク質の抽出

透析チューブに12.5g（4つで計50g）の真珠層粉末を入れ3N-HClを少しずつ加え粉末をほぼ溶解した。直ちにH₂Oに対し4℃で透析を行った。外液H₂Oで1日2回交換し透析した。4日間透析を行い、遠心して沈殿物の不溶性タンパク質を回収した。これを凍結乾燥しH₂Oで20mg/ml濃度としたものを超音波処理した懸濁液を試料とした。

2.3 DPPH ラジカルの消去活性

真珠層不溶性タンパク質の抗酸化作用の評価は、有色で簡易迅速な手法であるDPPH（1,1ジフェニル-2-ピクリルヒドラジル）ラジカルを用いて実施した。方法は、須田らの方法を一部改変して行った[3]。400μM-DPPH（in EtOH）、0.2M MES buffer（pH6.0）、EtOHの3試薬を各々250μl混合した750μlにタンパク質懸濁液（250μl）を加え、室温で20分間振とうさせ反応した。その後、反応液を14000rpm、5min。遠心した上清を回収し520nmで測定した。結果は、タンパク質を含まないコントロールに対するDPPHラジカルの消去活性を相対比として算出した。

3. 結果および考察

真珠層を酸で脱灰後、水透析した時に可溶性と不溶性の2種類のタンパク質が得られ、大部分は後者の不溶性タンパク質であることが判明した。不溶性タンパク

質のアミノ酸組成は、Gly (22.4%)、Ala (13.3%)、Asx (9.2%)、Leu (7.4%) と傾向としては昨年報告した可溶性のものと類似した。しかしながら、不溶性タンパク質では Glx が9.2%と約2倍多いことがわかった。

活性酸素は生体内で疾病の原因の1つであることが明らかになりつつあり、皮膚においてはメラニン生成やシワ形成の促進にも関与していると考えられている。そこで真珠層不溶性タンパク質の抗酸化作用を調べるために DPPH ラジカルの消去能で調べた。その結果、濃度依存的にタンパク質による DPPH ラジカルの消去がみられ 3 mg/ml では90%以上その効果があることが判明した(図1)。

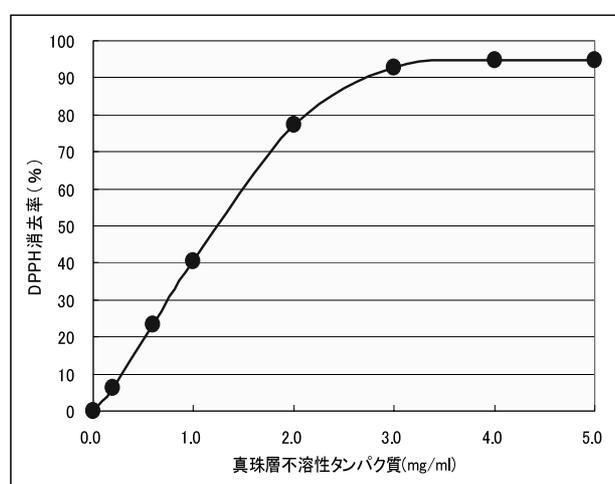


図1 不溶性タンパク質による DPPH ラジカル消去作用

アコヤ貝真珠層可溶性タンパク質については、トロロビン活性、ACE 活性(アンジオテンシン I をアンジオテンシン II に変換する酵素)を促進することを報告した[4]。このように、アコヤ貝貝殻にも種々の機能があることが考えられ、それらの解明により未利用資源であるアコヤ貝貝殻の有効活用を検討していく予定である。

4. 結 言

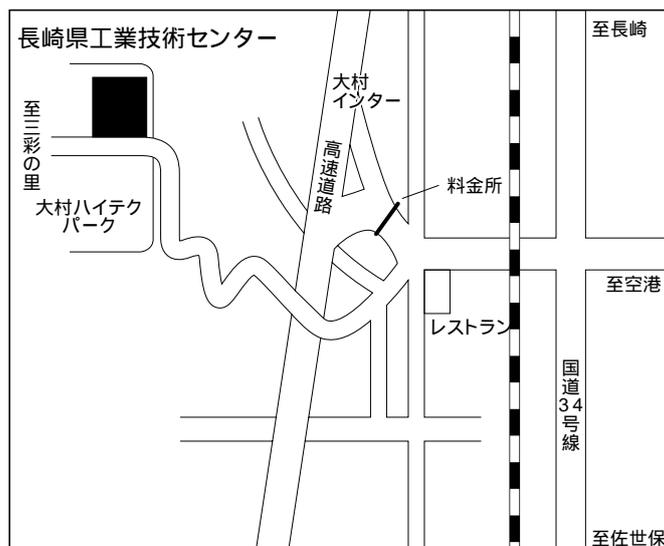
アコヤ貝真珠層の酸抽出、透析から得られた不溶性タンパク質には、抗酸化作用があることが判明した。

5. 参考文献

- [1] Y. C. Liu, K. Uchiyama, N. Natsui and Y. Hasegawa; Fisheries Science, vol.68, 1330-1336 (2002)
- [2] A. Torita, Y. C. Liu and Y. Hasegawa; Fisheries Science, vol.70, 910-915 (2004)

- [3] 須田郁夫; 抗酸化機能 分光学的抗酸化機能評価、食品機能研究法, pp218-223, 光琳
- [4] 晦日房和; H19長崎県工業技術センター研究報告 No. 37, pp46-50 (2008)

位置図



大村駅より車で10分
長崎空港より車で13分
大村 IC より車で3分

発行日：平成22年8月31日

発行所：長崎県工業技術センター

〒856 0026 大村市池田 2 丁目1303番地 8

TEL 0957 52 1133

FAX 0957 52 1136

ホームページ <http://www.pref.nagasaki.jp/kogyo/>

森林を保護し、地球温暖化を防止するため、
古紙パルプ配合品を使用しています。