

平成19年度

# 宮城県産業技術総合センター研究報告

The Annual Research Report of Industrial Technology Institute, MIYAGI Prefectural Government

No.5(2007)

---

---

## 目 次

1. 環境汚染物質の簡易計測技術の開発	1
2. 低放射ノイズ電子回路設計指針の開発	6
3. 品質改善事例のDB化及びその応用事例に関する研究	11
4. 地域企業向け組込みシステム用プラットフォームの開発	15
5. 微細切削加工に関する研究	21
6. 歩行運動負荷の分析と製品への応用	26
7. 糖尿病予防成分素材の探索と食品化	30



## 環境汚染物質の簡易計測技術の開発

浦啓祐・今野政憲・曾根宏<sup>\*</sup>・白井誠之<sup>\*\*</sup>・佐藤修<sup>\*\*</sup>・和久井喜人<sup>\*\*</sup>・松永英之<sup>\*\*</sup>  
材料開発分析技術部<sup>\*</sup>・宮城県新産業振興課<sup>\*</sup>・<sup>\*\*</sup>産業技術総合研究所コンパクト化学プロセス研究センター

食料品中の有害重金属元素分析に際し、試料分解処理に高温高压水を利用することで、湿式灰化処理などの公定分析法に比べ分解処理時間が飛躍的に短縮できることを確認した。

コーデックス委員会が定めた「食品中カドミウムに関する一般規格」に提示された食品群のうち、48品目の食料品について高温高压水による分解処理を実施したところ、殆どの試料が573K・計算圧力<sup>注1)</sup>9MPa以上の環境下に数分間保持することで分解・溶液化し、元素分析装置に供試可能な状態となった。

高温高压水による試料分解処理は工業系ポリマー等の分解にも適用可能であり、RoHS(Restriction of Hazardous Substances)やELV(End of Life Vehicle)等の有害重金属規制の分析にも有効であった。

キーワード：高温高压水、有機化合物、分解処理、有害元素、定量分析

### 1. 緒言

FAO/WHO合同食品規格委員会による食品中カドミウム基準値(上限値)の規格化、欧州議会による電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限に関する指令(RoHS)、使用済自動車(ELV)における環境汚染物質に関する指令など、環境汚染物質に関する法規制が強化される昨今、多くの産業界において、これら環境負荷化学物質の分析の重要性および需要が年毎に高まっている。

食品やプラスチック、エラストマーなどの有機化合物系材料に含まれる微量の重金属類を測定する際には、分析装置による測定に先立ち試料の溶液化(分解)処理が必須となるが、多種多量の薬品の使用や長時間の化学操作を要する試料処理が各法規制におけるスタンダードな分析法となっている。

このため分析化学技術者の間では公定分析法と同等の感度・精度を維持しつつ、シンプルかつ短時間で試料の溶液化が可能な分解処理法が切望されてきた。

一方、臨界点(H<sub>2</sub>O:647K・22MPa)近傍や臨界点を超えるような高温高压水の特徴として、優れた有機物の溶解作用と激しい加水分解作用が知られている。

溶解作用は水の誘電率が亜臨界領域で急激に減少し有機溶媒と同程度になること、加水分解作用は水素イオン、水酸イオンのイオン積が647K付近で極大値を示すことによるものとされている。

本研究では、従来の湿式灰化法や乾式灰化法に替わる有機化合物の分解処理法として高温高压水処理を適用し、従来法と同等の分析精度を維持しつつ短時間

で試料中重金属元素の分析が可能となる手法について検討した。

### 2. ポリマー中重金属の定量

JIS-C0950(J-Moss)は電気・電子機器に使用される特定化学物質含有表示方法の規格であり、同規格の遵守を義務づけた「資源有効利用促進法改正政省令」が2006年7月1日に施行された。

上記は欧州議会によるRoHS施行の日でもあり、国内外において工業材料に含まれる環境負荷物質管理規制の整備が進められている。

特にプラスチックやエラストマー等のポリマーによる部材・製品は、加工工程において種々の添加剤が使用されるため、環境負荷物質分析のニーズが多い。

本節では産業界や一般家庭内で使用されている代表的なポリマー材料を試験対象として、含有重金属分析時における高温高压水分解処理の適応性について検討した。

#### 2.1 試験方法

##### 2.1.1 試料

・アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン樹脂(NMIJ 8103-a、以下「ABS」と略す)

・ポリエチレン樹脂(IRMM BCR 680、「PE」と略す)

・ポリエステル樹脂(JSAC 0601-2、「PES」と略す)

・アクリル樹脂(特注標準物質、「PMMA」と略す)

・ポリカーボネート(CAS#111211-39-3、「PC」と略す)

- ・ポリエチレンテレフタレート樹脂(CAS#29154-49-2、「PET」と略す)
- ・ポリプロピレン樹脂(「PP」と略す)
- ・ポリスチレン樹脂(「PS」と略す)
- ・ポリアセタール樹脂(「POM」と略す)
- ・塩化ビニル樹脂(「PVC」と略す)
- ・ポリエーテルエーテルケトン樹脂(「PEEK」と略す)
- ・四フッ化エチレン樹脂(「PTFE」と略す)
- ・ポリベンゾイミダゾール樹脂(「PBI」と略す)

ABS、PE、PESの三試料は重金属評価用標準物質として市販されているもので、共重合反応(ABS)、付加重合反応(PE)、縮合重合反応(PES)と、製造法上での分類から代表的なポリマーである。

また、汎用プラスチックとして一般家庭にも馴染みが深いPMMA、PET、PS、PVC。エンジニアリングプラスチックとして産業界における主要材料であるPC、PP、POM。高温高压など過酷な環境下で使用されているスーパーエンジニアリングプラスチックとして知られているPEEK、PTFE、PBIの計13試料を試験対象とした。

## 2.1.2 分解処理

高温高压水によるポリマー材料の分解処理手順を図1に示した。

試料分解容器(SUS-316L製、内容積10～20cm<sup>3</sup>)に各試料50～100mg及び所定量の過酸化水素水を導入した。この際、容器内の脱気処理は実施していないため容器内気相の雰囲気は大気組成である。

その後、試料分解容器を密閉し、573～673Kに設定した熔融塩炉(セルシウス高温用 トーマス製)中へ10～30分間導入しポリマー試料の分解処理を行った。

最も試料分解に影響を与えるパラメータと予測した過酸化水素水(30%)添加量については、分解試料50mgあたり最大で5.5gまで添加した。

分解処理後に試料中の全有機炭素(TOC)およびカドミウム、鉛を評価することを想定し、TOC分析用の場合はイオン交換水、元素分析用の場合は0.5M硝酸で容

器を共洗いしながら分解物を回収・定容した。

## 2.1.3 分解処理の評価

高温高压水処理による試料分解度の評価について、分解処理物が目視上で無色透明か否か、分解残さが発生していないか、を第一の判断基準とした。

上記が達成されていれば多くの分析機器装置に供試可能であるが、その他、本試験においては各ポリマー分解試料中に残存するTOCを測定し、高温高压水による各ポリマーの分解度を定量的に評価した。

また、重金属元素分析用標準物質として頒布されている「ABS」については、分解試料中のカドミウム(Cd)、鉛(Pb)を測定し、標準物質に添付されている成分認証値に対してどの程度回収されているかを確認した。(本報告では回収割合と表記した)

全有機体炭素の測定はTOC計(TOC-V 島津製作所)、Cd、Pb測定は誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP-OES: IRIS-APジャーレリアッシュ)を使用した。

## 2.2 実験結果および考察

### 2.2.1 高温高压水によるポリマーの分解

573K・10分間の高温高压水(計算圧力9MPa以上)処理時の各ポリマー材料の分解状況を図2に示した。

試料50mgあたり2.5～3gの30%過酸化水素水を分解容器内に添加することで、スラリー状の分解液に止まったPVC、PET、外観上の変化が殆ど認められなかったPTFEを除いた10試料の分解液は目視上無色透明であり、即、分析機器に供試可能な状態となった。

上記条件において分解処理した際の分解処理液中の全有機炭素量を表1に示した。

目視上無色透明となった試料であっても炭素成分が全て二酸化炭素に分解されている訳ではなく、分解液中に0.0～3.7mgの有機系炭素化合物として残存していることがわかる。

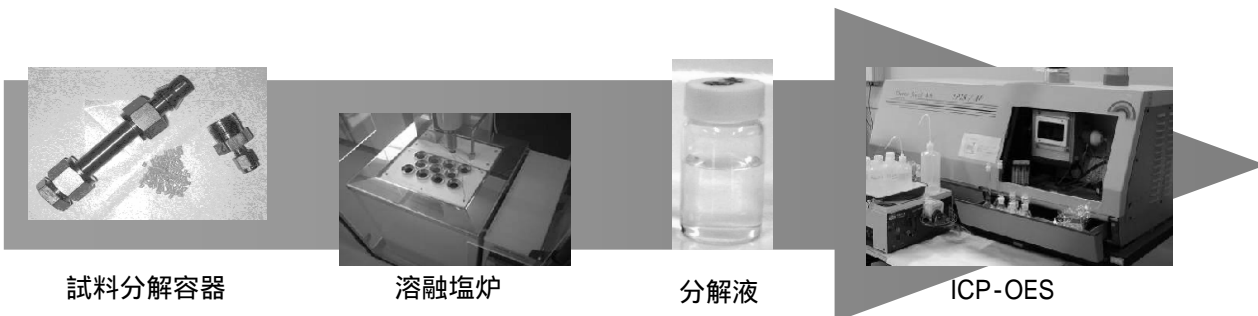


図1 高温高压水による試料分解処理

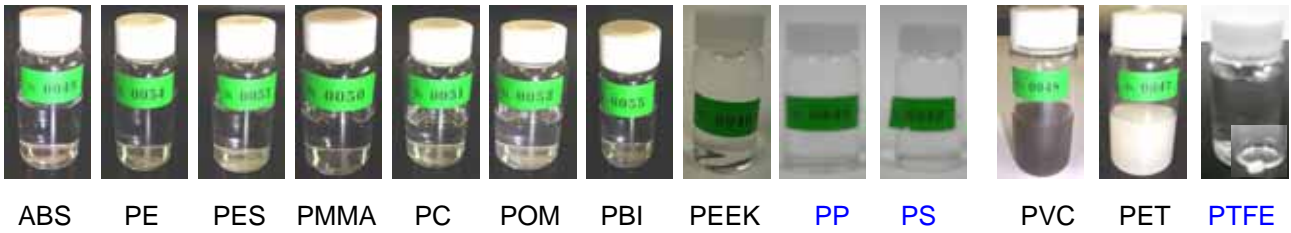


図2 各ポリマー材料の分解状況(573K・10min)

表1 分解液中に残存した全有機炭素量(供試量50mg、573K・10min処理)

ポリマー種	ABS	PE	PES	PMMA	PC	POM
残存TOC(mg)	2.5	0.9	1.9	2.2	3.7	0.03

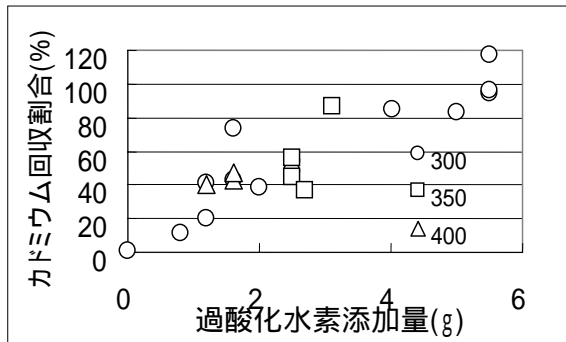


図3 ABS樹脂のCd回収割合

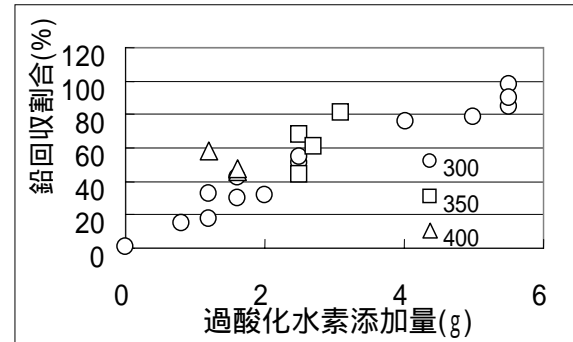


図4 ABS樹脂のPb回収割合

### 2.2.2 ポリマー中重金属の定量(回収割合)

図3.4は50mgのABSを高温高圧水法により処理した後、試料中のCd、Pbを分析した結果のグラフである。

グラフの横軸は分解容器(内容積10cm<sup>3</sup>)に導入した30%過酸化水素水量(g)、縦軸は標準物質認証値(Cd:107mg/kg、Pb:1084mg/kg)に対する回収割合であり、即ち縦軸で100%を示しているデータはCdおよびPbの測定値がそれぞれ107mg/kg、1084mg/kgを示したデータとなる。

実験結果2.2.1では2.5~3gの過酸化水素水を添加することで、処理後の溶液が元素分析装置のような分析機器に供試可能な状態に分解されたことを報告したが、各重金属の回収割合から見ると、分解処理の際には供試量50mgに対して4g以上の過酸化水素水の添加が必要と思われた。

ここで4g以上過酸化水素水添加の試験群のプロットが100%よりやや下方に集まっている傾向にあるが、これは分解容器のリークによるものと思われ、容器密閉時のシール等を改良することにより上方へシフトするものと思われる。

また各グラフのプロットから見られるようにABS樹脂の分解状況、重金属の回収割合とも過酸化水素水添加量、即ち酸素供給量に依存しており、分解温度の影響については573~673Kの範囲では認められなかった。

### 3. 食品・農作物中重金属の定量

FAO/WHO合同食品規格委員会によるカドミウム濃度はRoHS等の工業材料に関する基準値(100mg/kg)に比べ、はるかに微量な領域(0.1mg/kg(穀類、豆類、根茎菜、馬鈴薯)から2mg/kg(二枚貝、頭足類))で規格化されている。

本節ではCd規格が提示されている食品群のうち、表2に記載した48品目の農作物・食品について重金属分析用高温高圧水分解処理の適応性を検討した。

#### 3.1 試験方法

##### 3.1.1 分解処理

各試料は378K・3時間の乾燥処理した後、市販カッ

ターミルにより粉碎し試験に供した。  
 高温高压水による食品等の分解処理は1.1.2ポリマーの分解処理フローに準じた。

特にうるち米の分解処理については、高温高压水分解処理法の対照区として公定分析法のひとつである湿式灰化法(S46農林省令第四十七号)による分解処理も実施した。

試験供試量は、高温高压水処理法による試料分解試験区については200mg(内容積20cm<sup>3</sup>分解容器使用)、湿式灰化法による試料分解試験区については4g(内容積100cm<sup>3</sup>ほう珪酸ガラスビーカー使用)とした。

### 3.1.2 カドミウム濃度の定量

ICP-OESのプラズマ条件は高周波出力1150W、補助ガス流量0.5ml/min、ネブライザ圧力26psiとし、214.4nm、226.5nm、228.8nmの各波長における発光強度を測定した。

高温高压水処理から得られた分解溶液は硫酸等の試薬が残存しない希薄な溶液であるため、ICP-OES測定時の試料導入には超音波ネブライザを採用した。

また、超高感度元素分析装置とされるICP-MSにおいて酸等化学成分が濃厚な試料は、検出器の保護のために通常は試料を希釈処理した後に装置に供されるが、高温高压水処理から得られた分解溶液については硫酸等の試薬が残存しない希薄な溶液であるため、臆することなく直接装置に供することができた。ICP-MS(ELAN DRCe:パーキンエルマー)によるカドミウム定量の質量数は114とした。

## 3.2 実験結果および考察

### 3.2.1 高温高压水による食品・農作物の分解

573K・10分間の高温高压水(計算圧力9MPa以上)処理時の食品等の分解状況を図5に示した。

試験に供した48品目のうち、シジミ貝を除いた47品目の試料が573K・10分間の処理条件で無色透明の分解溶液となり、ICP-OESのような分析装置に供試可能な状態にまで分解された。

一方、処理物中に残さが生じたシジミ貝について、残さを蛍光X線分析装置(XGT2600:堀場製作所)により定性分析したところケイ素、鉄、アルミニウム等が検出され、残さはシジミ貝の体内に含まれていた鉱物(砂)であることが推測された。

有害物規制におけるカドミウム基準値が食品類の可食部分を対象としていることから、シジミ貝に含まれていた砂はる過処理等により除去した後にICP-OESに供して問題はなく、高温高压水による試料分解法が殆どの食品類に適応可能な手法であることが確認された。

### 3.2.2 うるち米中カドミウム濃度の定量

各分解法および元素分析法における、うるち米中カドミウムの定量結果を表3に示した。

分解容器の耐圧性(673Kで約22MPa)から容器中に導入可能な過酸化水素水量を考慮し、高温高压水処理法における試験供試量は最大で0.2gとした。

上記は農林省令で示されている供試量の1/10～1/50であり、このため通常の試料導入手段(同軸ネブライザ)によるICP-OESでは装置感度が足りず、信頼性のあるカドミウム定量値が得られなかった。

一方、ICP-MS法、及び試料導入手段に超音波ネブライザを使用したICP-OES法では、供試量0.2gでも湿式灰化法(S46農林省令第四十七号)と同等精度の安定した定量値が得られた。

本試験の結果は、第50回分析技術共同研究の他に農水省主催の全国技能試験にも報告したが、何れにおいてもメジアン付近の報告値(0.18～0.19mg/kg)となり、高温高压水処理法の有用性を確認することができた。

表2 高温高压水分解処理に供した農作物・食品

食品群	農作物・食品 (分析試料)
精米	うるち米、もち米
穀類・豆類	大麦、小麦粉、大豆、コーヒード、グリーンピース、ゴマ
根茎菜・馬鈴薯	ジャガイモ、大根、にんじん、さつまいも
葉菜	ホウレン草、キャベツ、白菜、緑茶、レタス、ネギ、玉葱、大蒜、水菜、紅茶
野菜・果実	ブロッコリー、カリフラワー、南瓜、椎茸、檸檬、林檎、柿、蜜柑、シメジ、胡椒、唐辛子
二枚貝・頭足類	シジミ貝、たこ
その他	豚肉、鶏肉、鯛、鮭、ホッケ、わかめ、海苔、凍豆腐、豆腐、パン、チーズ、蒟蒻、鶏卵

うるち米 : 産業技術連携推進会議分析分科会 第50回分析技術共同研究 配布試料

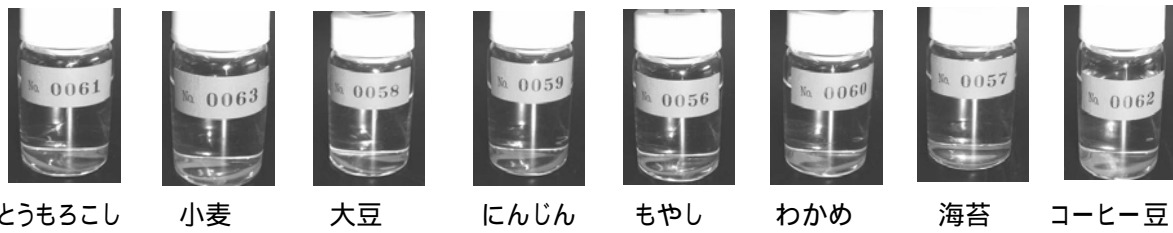


図5 農作物・食品の分解状況

表3 うるち米中カドミウムの定量結果

	本報告測定値			参考値(ラウンドロビンテスト)	
	湿式灰化法	高温高压水処理法		NMIJ主催 <sup>3</sup>	農水主催 <sup>4</sup>
供試量 (g)	4.0	0.2			
元素分析法	ICP-OES <sup>1</sup>	ICP-MS <sup>2</sup>	ICP-OES		
試料導入法	同軸ネブライザ		超音波ネブライザ		
Cd (mg/kg)	0.193	< 定量下限	0.179	0.18	0.189

1)誘導結合プラズマ発光分光分析装置

2)誘導結合プラズマ質量分析装置

3)産業技術連携推進会議 分析分科会 第50回分析技術共同研究の平均値 (n=56)

4)精米粉末中のカドミウム及び必須元素のプロフィシエンシテットの付与値 (n=56)

#### 4. 結 言

従来の湿式灰化法に替わる試料処理法として高温高压水処理法を適用し、有機化合物試料中の重金属元素を迅速かつ精確に計測する方法について検討した。

食料品試料の殆どが573Kの環境下に数分間保持することで元素分析装置に供試可能な状態までに分解し、試料中カドミウム濃度の測定についても、公定分析法と同等の安定した定量値が得られた。

また、同処理法は工業系有機物材料にも有効であり、年々厳しくなる産業界の有害物規制に関する分析に対応可能であった。

環境汚染物質分析において、高温高压水による試料分解処理法は操作が煩雑・長時間であった従来法に代

わる有効な手段であることを確認した。

#### 謝 辞

研究を進めるうえで、独立行政法人産業技術総合研究所東北センターの皆様、(株)東邦テクノスの井原忠雄氏に多大なるご協力をいただきました。

記して感謝の意を表します。

注1) 計算圧力: 反応容器内容積、反応容器への水導入量、反応容器の加熱保持温度をもとに、飽和蒸気表と過熱蒸気表から容器内圧力を計算。これに過酸化水素水から発生する酸素分圧を加算した。

## 低放射ノイズ電子回路設計指針の開発

長岩功・高田健一・岩間力・入町秀樹・沼山崇  
機械電子情報技術部

CPUを搭載したプリント基板の配線パターンから放射する不要電波について、リターン電流のパターンを確保することにより放射電界強度が5～10dB程度低減できることを、シミュレーションと実測において確認した。これらの事実から設計指針を作成して公開した。

キーワード: EMC、対策設計、電子基板、シミュレーション

### 1. 緒言

EMC規制は、製品を販売する上で避けては通れない規制になっており、当センターにおける地域企業のEMC試験室の利用時間は年間2,200時間以上に達している。

電子機器は、電子回路基板を内蔵し、その電子回路基板の信号が不要放射ノイズの源となる。金属筐体の場合、開口部、外部へのインターフェースケーブルおよびAC電源ケーブルがアンテナとなり不要電波が放射される他、プリント基板上の配線からも電波が放射される。

プリント基板からの放射については、開口部、ケーブルでの対策により、筐体外部への電波の放射をある程度は抑制する事が可能であるものの、ノイズの源であるプリント基板において対策することが基本である。

ところが、製品開発現場においては、EMC対策が製品の完成間近な段階で行われる事が多いため、電子回路基板の配線パターンの変更が事実上不可能で、ケーブルに対策部品を追加するなどの対処療法的な対応で多くの時間を費やすといった状況に陥っている。基板の設計段階からEMC対策を意識し放射ノイズを出しにくい電子回路基板を設計するべきであるものの、その手法を簡易に示した情報が少なく、電子回路基板設計の課題となっている。そこで、本研究では、地域企業の製品開発時のEMC対策設計に関する開発期間の短縮と開発コスト低減を目的とし、放射ノイズの少ない電子基板を設計するためのルールを指針として提供することを目指した。

### 2. 開発内容

設計指針は、基板設計時に放射ノイズの要因となる事項に関して基本的な留意点をまとめた。

具体的には電磁界シミュレータ、EMCシミュレータを利用し、以下の項目について数値解析を実施するとともに、項目によっては実際の基板の測定結果との比較も行った。

配線パターンの基礎的なルール  
基板の層構造の影響  
差動配線の効果  
CPU搭載基板の解析方法

#### 2.1 リターン電流の効果

電子回路は、電流信号を送出するドライバと受信するレシーバーが数多く接続されて構成されており、電流信号は往路と復路の2本の信号線で伝送される。往路の配線は回路図上に明示されるが、復路については種々の回路が共通に用いるグランド層を流れるように作られる事が多いため回路図上で省略され具体的に考慮される事が少ない。この復路の電流(リターン電流)<sup>1)2)</sup>の経路を最適化することによる対策が有効である。

基板の信号配線パターンに電流が流れるとそのパターンに一番近いグランド層にリターン電流が流れる。配線パターンとリターン電流が近接している場合、それらの電流の向きは互いに逆向きのため電流により発生する磁界が打ち消しあい、放射ノイズは発生しない。しかしながら、往復の電流の経路の間隔が大きい場合は不要な電波が放射されやすくなる。

このように、リターン電流に着目し、リターン電流の経路を最適化することにより放射ノイズを減少させることが可能である。部品の配置や配線に配慮しリターン電流の経路を確保した設計をすることが放射ノイズ対策となる。

#### 2.2 高速信号直下のグランドの効果・影響

電子回路基板の場合、両面基板が用いられる場合が多く、現在でも全基板の約1/4、リジッド電子基板においてはその半数近くが両面基板として生産されている。<sup>3)</sup>そこで本研究では、両面基板を対象に解析・実験を行った。すなわち、基板片側に信号線を配置し、その反対側の面をベタグランドとし、グランドのリターン電流の経路を変えた場合の放射ノイズへの影響を解析した。



電磁界シミュレータを用いて、図1に示すように、特性インピーダンス50 のマイクロストリップラインの一方を50 で終端し、もう一方に1V<sub>rms</sub>の交流電圧を印加した場合に放射される電界を100MHzから1000MHzまで100MHz間隔で求めた。

図1の(2)に示すように、配線のリターン電流を阻害し経路を変える要素として、裏面ベタグランドに信号線と直交するスリットを設けた。また、図1の(3)に示すように、スリットがある場合においても、配線の直下付近にリターン電流が流れる経路が存在した場合には、どの程度影響が現れるのかを確認するためにベタグランドにスリットはあるが信号線の直下ではグランドが接続されていてリターン電流の経路が確保されている場合と、図1の(4)のように、そのリターン電流の経路が信号線の直下から離れている場合について解析を実施した。

図2に放射電界のシミュレーション結果を示す。

スリットが無くリターン電流が配線の直下を流れる場合(表2 No.1)を基準とすると、スリットがある(No.2)は、周波数1GHzにおいて25dB近く電界が増加する。また、スリットがあった場合でも配線直下がグランドの場合(No.3)はNo.1とほぼ変わらないことがわかる。しかしながら、その位置が配線の直下から10mm離れる(No.4)と約10dB増加し、距離が20mmになる(No.5)と更に5dBほど増加してしまう。

図3はシミュレーションで求めたリターン電流の分布である。図3が示すように、リターン電流を阻害するようにスリットがある場合、リターン電流はそのスリットのふちに沿って流れる。たとえグランドにスリットがあった場合においてもリターン電流を阻害しない場合(No.3)は、スリットのふちに電流が流れない。しかしながら、リターン電流の経路を確保する意図でグランド間を接続しても、その経路が信号線の直下に無い場合(No.4およびNo.5)はスリットに沿ってリターン電流が流れてしまう。このように、リターン電流の電流ループの拡大により、不要な電波放

射が増加してしまうことがわかる。

表1 シミュレーション基板の寸法

	厚(μm)	寸法(mm)
信号ライン	35	100×1
基板	500	180×100
GND	35	180×100

表2 シミュレーション基板の種類

番号	スリット状態(図1)	GND 接続の位置
No1	(1)スリットなし	-
No2	(2)スリットあり1	-
No3	(3)スリットあり2	配線直下 0mm
No4	(4)スリットあり3	配線直下から 10mm
No5	(4)スリットあり3	配線直下から 20mm

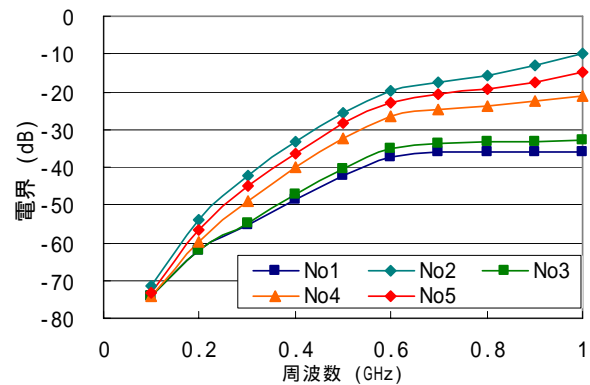


図2 グランドスリット基板のシミュレーション結果

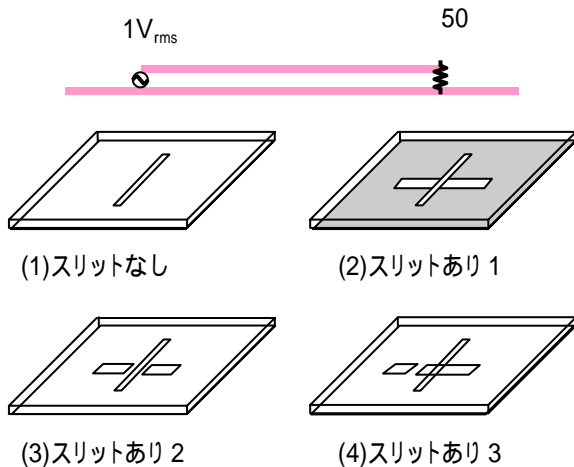


図1 励振条件とスリット状態

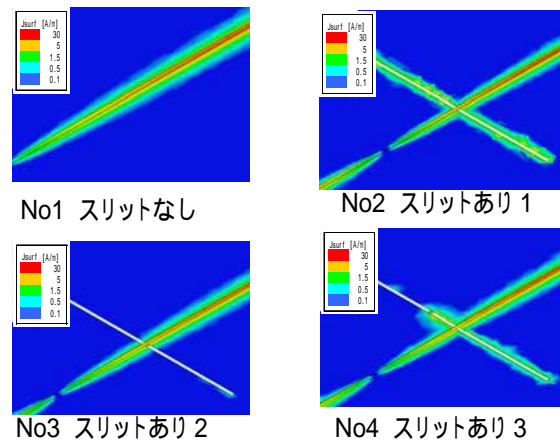


図3 シミュレーション結果  
リターン電流の分布

実際の両面基板においてもリターン電流が阻害されているために放射ノイズが増加していることを確認した。両面基板において片面に信号ライン、反対の面にその信号ラインと交差するラインが配置され空いたスペースをグランドとした場合、グランドのリターン電流が阻害される。その結果、リターン電流が最短コースをはずれて迂回するために、放射ノイズが大きくなる。この基板について、その部分のパターンのみを変更し、リターン電流が阻害されないように変更したところ、放射電界強度のピーク値において約5dB低減する周波数があることを確認できた。図4に基板のパターンの一部とその基板改造前後の電界放射強度を示す。

このように高速信号線直下はグランドが途切れないように、リターン電流に配慮し設計することが放射ノイズを低減する対策のひとつであることがわかる。

### 2.3 CPU搭載基板の放射ノイズ解析

組み込みシステム用途に設計、製作した 16bitCPU とネットワークコントローラを搭載した CPU 基板の放射ノイズの低減解析を実施した。

基板の放射ノイズ対策としては対策部品の利用が挙げられるが、基板のパターン設計段階で EMC 設計を施さなかった場合、いかに優れた対策部品を使用しても放射ノイズを低減させるのは大変な困難が伴う。そのため、パターン設計段階から放射ノイズに考慮した設計をすることが重要である。基板のパターンを設計する際に留意する点は多々あるが、本研究ではリターン電流

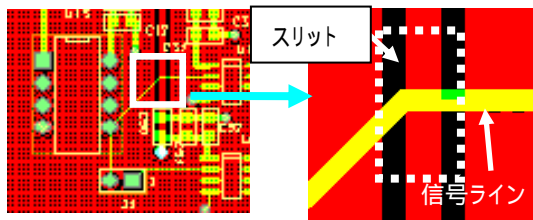


図4 基板パターン  
信号ラインの下面でラインが交差し  
スリット状となっている。

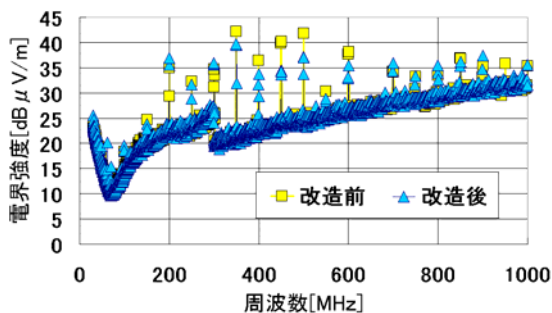


図5 放射電界強度(水平偏波)

の経路である電源のグランドパターンの影響に着目した。

リターン電流のこともわかるように、グランドには一様ではない電流が流れ、電流分布が存在する。高速に動作する信号の近傍では大きい電流が流れ、そうではない部分においてはあまり電流が流れない。また、搭載されている IC の動作に応じてその素子の電源ピンに対して電流が流れ込む。これらの電流は基板の放射ノイズの大きな要因となる。

IC の電源部に配置されるコンデンサは IC の動作時に必要な過渡的な電流を供給し、IC の動作による電流変動を電源ライン、電源層へ伝えないデカップリングの役割を果たす対策部品であり、これによりある程度 IC の動作による電流変動を低減させることが可能である。一方、リターン電流による影響は、パターンを工夫することにより放射ノイズを低減することが可能である。

回路および動作機能が同じで、配線のパターンとグランドのパターンのみが一部異なる 2 種類の基板において、EMC シミュレータを使用し、データバスとアドレスバスが動作した際の基板上的パターンの電流分布を求めた。また、その電流分布から放射電界度を求めた。基板は両面基板で両面に配線があり、配線に使用されていない部分は両面ともベタグランドとした基板である。2 種類の基板の一方はパターンやスルーホールのために信号ラインの裏面の部分のグランドにスリットが形成された基板で、もう一方はその部分のパターンを変更し、スリットを解消した基板である。それぞれ基板 1 と基板 2 とする。基板の仕様と基板 1 の写真を表 3、図 6 に示す。

表3 基板仕様

項目	仕様
CPU	H8/3069F25
クロック	20MHz
層構造	両面プリント基板
実装	両面
電源	DC5V ACアダプタ供給
銅箔厚	35 $\mu$ m
板厚	1.6mm
材質	FR-4
寸法	70mm $\times$ 165mm



図6 シミュレーション対象基板 基板1

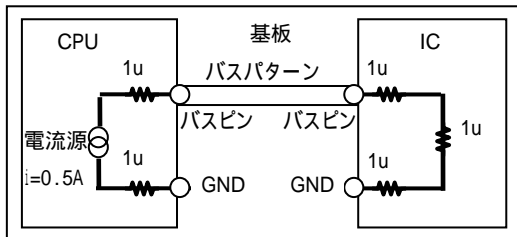


図7 シミュレーション条件

EMCシミュレータは(株)アプライド・シミュレーション・テクノロジー社製のApsimSPEを使用した。本研究ではCPUのデータバスおよびアドレスバスが動作した際に生じる高調波電流成分により基板上のパターンに発生する電流分布を50MHzから1000MHzまでの範囲において50MHz毎に計算した。

シミュレーション条件は、CPUのバスピンの内部に0.5Aの各周波数成分をもつ定電流源がそれぞれ1 $\mu$ の抵抗でGNDとバスピンに接続され、また、そのバスが接続されるICの内部は3 $\mu$ でバスピンとGNDが接続されていることとした。図7にこの条件を示す。

シミュレーションにより求めた基板のグランド電流分布と放射電界強度の値を図8、図9に示す。

基板1、2ともよく似た電流分布であるが、基板1は中央付近のグランドがつながっていないために電流が流れていないことがわかる。

それに対して基板2の方は基板中央付近のパターンが違い、グランドがつながっており、電流が流れている。

一方、放射電界強度のシミュレーション結果(図9)は基

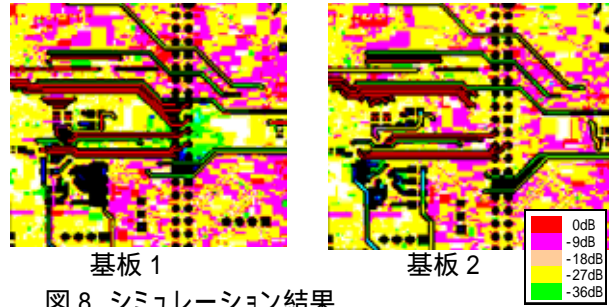


図8 シミュレーション結果  
基板のグランド電流分布

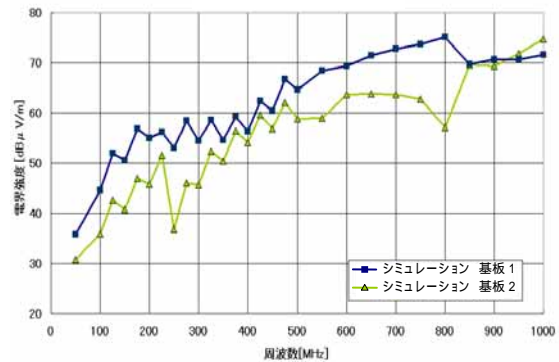


図9 放射電界強度のシミュレーション値

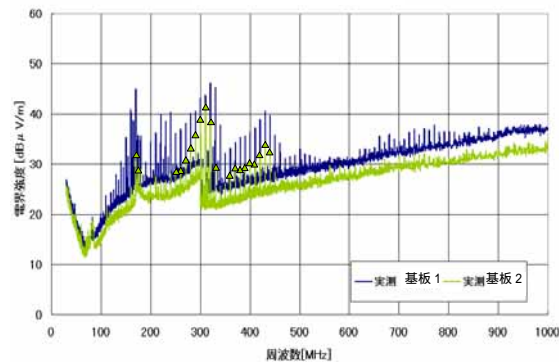


図10 実際の放射電界強度値

板1の方がほぼ全体の周波数領域にわたり5から10dB程度、電界強度の値が高い。

これは、グランドの電流が流れにくく、電流ループが大きくなるために放射電界強度が高くなるものと推測される。

実際の基板における電界強度の結果を図10に示す。実際の放射電界強度のピーク値も、基板1が全周波数帯域において5dBから大きいところでは15dB程度高い値となる結果が得られた。

このことから、基板のパターンを工夫しリターン電流の経路を確保することにより放射ノイズを低減することが可能であることがわかる。すなわち設計段階でパターン設計に配慮することで、EMC対策効果を得られることがシミュレーションにより確認できた。

### 3. 結言

EMC対策に関しては設計のより上流段階から実施するEMC対策設計が効果的である。本研究ではシミュレーションを利用し、より基本的なEMC対策設計に関する事項を低放射ノイズ電子回路設計指針としてまとめた。対策設計にはいろいろな設計指針があるが、今回のようにシミュレーションを利用することにより、パターン変更による対策設計の効果の有無について検証することができ、試作や実測の回数を減らすことが可能である。今後シミュレーションを利用したEMC対策設計に関する情報提供を充実させていく予定である。

[謝辞]本研究は平成19年度に(財)日本自転車振興会の補助により購入した「EMC統合回路設計システム」を使用しました。

### 参考文献

- 1) 久保寺 忠, “高速デジタル回路実装ノウハウ”, CQ出版株式会社, 2002
- 2) EMC設計技術 基礎編”, (社)エレクトロニクス実装学会, 2004
- 3) (社)日本電子回路工業会 電子回路基板生産動向  
<http://www.jpca.org/kikaitoukei/kikaifr2008.html>

## 品質改善事例のDB化及びその応用事例に関する研究

萱場 智雄 ・ 伊藤 利憲  
企画・事業推進部

品質工学とは、製品に求められる機能に注目して設計を最適化しようとする手法である。本研究では、品質改善事例データベースの開発を行うとともに、具体的な課題への品質工学の適用を行った。開発したデータベース「QDB」には、現在約1,500件のデータが格納されており、キーワードを入力することにより過去の品質工学適用事例の検索を行うことができる。また品質工学の具体的な課題への適用例として、MTシステムを活用した微小径ドリル折損予知装置の製作、ならびに発想支援システム「モアシス」へのMTシステムの適用を行った。

キーワード：品質工学、データベース、キーワード検索、微小径ドリル、折損、発想支援

### 1. 緒言

品質工学とは、製品に求められる機能に注目して設計を最適化しようとする手法であるが、高生産化(設計・製造の効率化)と高品質化(市場での品質トラブルの防止)という、相反する二つの命題を同時に実現できるものとして非常に注目を集めている。

しかし、考え方の難解さ、式の複雑さなどがあり、県内中小企業への普及が進んでいないのが現状である。そこで本研究では、品質改善事例データベースの開発を通して品質工学の普及・啓蒙に努めるとともに、具体的な課題への適用を通して品質工学に関する知識を蓄積することを目的とする。

### 2. 品質改善事例データベース「QDB」の開発

具体的課題に対して品質工学の適用を考えた場合、まずすべきは当該分野における過去の事例の有無の調査である。もし過去に成功事例があれば、そこで使用されている基本機能や誤差因子等を参照することにより、品質工学の適用に要する試行錯誤を大幅に省略することができる。ここで従来、個別の事例に対して詳細な内容を調べることのできるデータベースは存在した<sup>1)</sup>が、過去の関連事例を簡便かつ広範囲にリストアップすることができるデータベースは存在しなかった。

そこで本研究では、通産省(当時)のIMS(Intelligent Manufacturing Systems)国際共同研究事業の一つである「IMS-ROBUST」プロジェクトより約1,200件の品質工学活用事例の提供を受け、WEBブラウザにより簡便に使用することのできるデータベースを開発した。

図1に本データベース「QDB(Quality Engineering DataBase)」のトップページを示す。QDBにおいては、キーワード検索を行うことが可能であり、知りたい分野における事例の有無が手軽にわかる。例として図2に、「ドリル」というキーワードで検索を行った場合の表示を示す。この場合、関連する25件の結果が表示されている。個別の事例をクリックすることにより、基本機能、誤差因子等の情報を参照することができる(ただしすべての事例についてそれらの情報が入力されているわけではない)。その内容の表示例を図3に示す。

IMSからの提供後、新たにデータを追加し、現在QDBには約1,500件のデータが格納されている。これは今後もさらに増える予定である。



図1 QDBトップページ



図2 キーワード検索の表示例



図3 個別の事例の表示例

### 3. 具体的課題への品質工学の適用

#### 3.1 ドリル折損予知への品質工学の適用

生産現場におけるドリル加工において、最も大きいトラブルはドリルの折損である。加工途中で予期しないドリル折損が発生すると、工作物に食い込んだドリルの破片を除去することが難しいため、工作物を不良品にしてしまうことが多い。特に微小系ドリルは、剛性が小さいために折れやすく、折損の防止が重要な課題となっている。したがってトラブルの発生を未然に防ぐ技術を開発することは、生産性を高めることにつながることから、極めて重要であると考えられる。

本研究においては、微小系ドリルの折損を予知することを目的とし、品質工学の一分野である Mahalanobis-Taguchi (MT) システム<sup>2)</sup> を活用したドリル折損予知装置(図4)の製作を行った。

同装置においては、ドリル加工機の制御、データの収集、MTシステムにおけるMahalanobis距離 (MD) の計算を一連の流れで自動的に行えるよう、プログラムを一つにまとめている<sup>3)</sup>。これにより正常な加工かどうかの判定を即座に行うことが可能となっている。

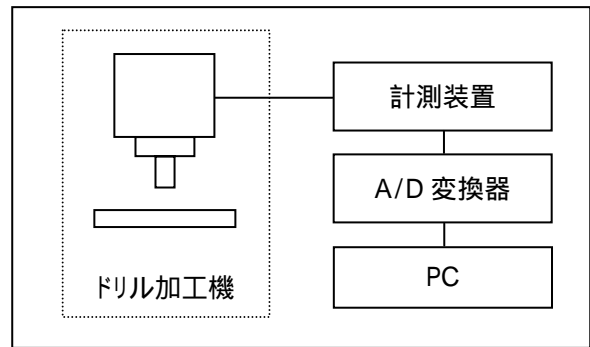


図4 ドリル折損予知装置の模式図

#### 3.2 モアシスへのMTシステムの適用

##### 3.2.1 研究の位置づけ

「あふれる発想」は多くの人々にとって重要なテーマである。近年、著者らは発想支援ソフトウェア「モアシス」を構築し<sup>4)-6)</sup>、様々な具体的事例に活用を試みている。モアシスはQDBと同じくWEBブラウザ活用型のアプリケーションである。図5にモアシスのトップページを示す。モアシスは、ナレッジデータベースの一種と位置づけることができるが、情報入力の手軽さと、出力情報の順位付け手法にその特徴を有している。そこでは、情報同士の関連性を、品詞の種類や世代間係数に応じて算出されるモアシスコアという統一パラメータで表している。



図5 発想支援システム「モアシス」トップページ

一方、パターン認識の一手法として前出のMTシステムが注目されている。MTシステムは、多次元空間中に存在するデータについて、基準となるデータ群(単位空間)との類似度を前出のMDを用いて表す手法である。本研究では、モアシスの出力の高精度化を目的として、情報の関連性の算出へMTシステムを適用した。既存のモアシス スコアとMTシステムを用いた場合との結果を比較し、考察を加えた<sup>7)8)</sup>。

### 3.2.2 計算方法

#### (i) 情報関連マトリックス

従来のモアシス、本研究のモアシスのいずれにおいても、表1の情報関連マトリックスに基づいて情報の関連性を算出する。ここで同マトリックス内の数値は、該当する2つの情報が関連づけられた回数を表示している。現在モアシスに登録されている情報数は1,340であるため、このマトリックスの大きさは1,340×1,340である。性質上、このマトリックスは対称である。

例えば「梅」と「宮城」の欄には2が入っているが、これはその2つが「関連している」とした入力が入った回数であることを表している。同様に「梅」と「おいしい」に関しては1回であるが、一方で「梅」と「海産物」に関してはそのような入力はなかったことになる。このマトリックスは、ユーザが入力した感性的な情報が蓄積されたものであるとすることができる。

#### (ii) 特徴量の設定

今回MTシステムを適用するにあたり、情報Aに対する情報Bの関連性を特徴付ける値(特徴量)として、情報Aのつながりを3世代までたどっていった際の、各世代における情報Bの出現回数を用いる。図6にその模式図を示す。この際、各世代に出現した自分自身はその後のつながりから除くものとする。このようにして算出

表1 情報関連マトリックス

	梅	宮城	おいしい	海産物	自然な	仙台	.	.
梅	×	2	1	0	2	0		
宮城	2	×	0	1	0	15		
おいしい	1	0	×	1	0	0		
海産物	0	1	1	×	0	3		
自然な	2	0	0	0	×	1		
仙台	0	15	0	3	1	×		
.							×	
.								×

した特徴量の例を表2に示す。この表より、「梅」と「のり巻き」とは直接はつながっていないが、他の情報を介して関連していることがわかる。

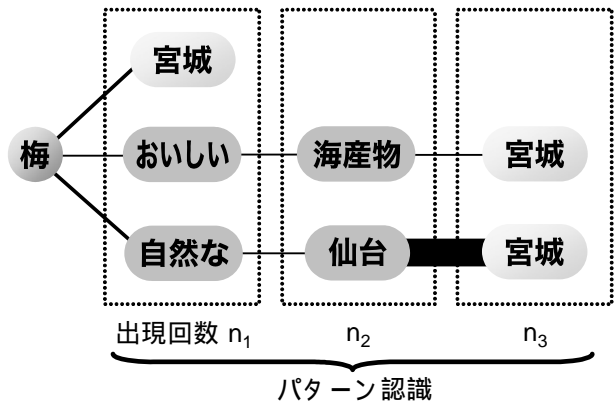


図6 特徴量の設定の模式図

表2 特徴量の例

情報A	情報B	特徴量(出現回数)		
		第1世代	第2世代	第3世代
梅	うれしい	1	0	11
	のり巻き	0	1	0

#### (iii) 単位空間の設定

各情報それぞれについて、他の情報との特徴量を算出し、そのすべてが0の場合を除いてそれぞれ平均をとったものを単位空間とする。単位空間のデータの一部を表3に示す。このように平均的な関連性を単位空間とすることにより、強い関連性がある場合にはMDが大きくなることが予想される。

表3 単位空間のデータの一部

情報名	n <sub>1</sub>	n <sub>2</sub>	n <sub>3</sub>
梅	0.108	0.431	11.9
宮城	0.063	3.88	20.9
おいしい	0.055	0.448	4.42
海産物	0.046	1.17	12.1
自然な	0.029	0.529	2.75
仙台	0.122	0.642	14.4
.	.	.	.
.	.	.	.

} 1340行

### 3.2.3 結果および考察

「梅」という情報に対する出力結果を表4に示す。ここでは上位10番目までを表示している。比較のため、モアシスコアによる結果も示してある。なおいずれの場合においても、最大値が100になるよう規準化してある。

同表において、従来法に比べ、MDを用いた場合のほうが自然な出力結果となっているといえる。このことはその他の情報に対する出力結果についてもいえることから、MTシステムを適用することによりモアシスの出力の精度があがったといえることができる。

表4 出力結果

順位	MTシステムによる		従来のモアシスによる	
	情報名	MD	情報名	モアシスコア
1	梅干	100.0	梅酒	100.0
2	梅酒	99.6	すっぱい	85.4
3	すっぱい	99.6	宮城	76.1
4	自然な	25.6	豪華な	72.4
5	宮城	24.4	艶っぽい	66.6
6	うれしい	8.4	丸森町	66.6
7	豪華な	8.1	梅干	65.3
8	艶っぽい	7.6	自然な	61.0
9	おいしい	7.4	うれしい	50.5
10	丸森町	6.2	おいしい	47.7

### 4. 普及・啓蒙活動

初心者向け「品質工学入門セミナー」、中級者・管理者向け「機能性評価祭り」(東北品質工学研究会と共催)を開催し、多数の参加者を得た。具体的な参加人数を表5に示す。

表5 セミナー等参加人数

名称	年度			小計	計
	H17	H18	H19		
品質工学入門セミナー	67	124	27	218	900
機能性評価祭り	184	245	253	682	

さらに、個別の地元の中小企業において、大学における品質工学の研究者にレクチャーを依頼し実施する「品質工学訪問レクチャー」を行ってきており、3年間で6社の実績を得た<sup>9)10)</sup>。

### 5. 結言

本研究では、まず品質改善事例データベースQDBの開発を行った。現在約1,500件のデータが格納されており、キーワードを入力することにより過去の品質工学適用事例の検索を行うことができる。

また、品質工学の具体的課題への適用例として、MTシステムを活用した微小径ドリル折損予知装置の製作を行った。

さらに、発想支援システム「モアシス」の出力の高精度化を目的として、情報の関連性の算出へMTシステムを適用した。その結果、モアシスの出力の精度があがったといえることができる。

### 参考文献

- [1] 品質工学事例データベースシステム, [http://riodb.ibase.aist.go.jp/db002/DB002\\_jp\\_search.html](http://riodb.ibase.aist.go.jp/db002/DB002_jp_search.html)
- [2] 兼高達貳 編:MTシステムにおける技術開発, 日本規格協会(2002)
- [3] 千田祐介, 小野元久, 萱場智雄:ドリル折損予知装置に関する研究, 第15回品質工学研究発表大会論文集(2007), p.322
- [4] 伊藤利憲, 萱場智雄, 伊藤克利, 川村憲明:地域情報を多次的に扱う商品発想支援手法の開発, 第7回日本感性工学会大会予稿集(2005), p.180
- [5] 伊藤利憲, 萱場智雄, 伊藤克利:感性的商品開発支援ソフトウェア「モアシス」の開発, 第8回日本感性工学会大会予稿集(2006), p.135
- [6] 安藤明伸, 安孫子啓, 伊藤利憲, 萱場智雄:モアシスを応用したオーダーメイド型カリキュラム編成支援システムの開発, 日本産業技術教育学会第25回東北支部大会講演論文集(2007), p.41
- [7] 萱場智雄, 伊藤利憲:発想支援ソフトウェア「モアシス」へのMahalanobis-Taguchi(MT)システムの導入, 日本感性工学会第3回春季大会予稿集(2007), p.E31
- [8] 萱場智雄, 伊藤利憲:発想支援ソフトウェア「モアシス」へのT法の適用, 第15回品質工学研究発表大会論文集(2007), p.126
- [9] Y. Amamoto, T. Kayaba, K. Mori and M. Ono : A Regional Industry Promotion Project: KC-Miyagi An alliance of regional universities, institute, technical colleges and Kohsetsushi , Proceedings of QMOD Conference 2007, USB Memory Key
- [10] 天本義己, 萱場智雄, 小野元久:宮城県と宮城教育大学による「品質工学」の地域への普及活動, 第15回品質工学研究発表大会論文集(2007), p.234



## 地域企業向け組込みシステム用プラットフォームの開発

今井和彦 ・ 氏家博輝 ・ 堀豊  
機械電子情報技術部

一般に組込みシステムの開発効率を向上するにはソフトウェア部品の再利用が有効である。本研究では、重要なソフトウェア部品の1つである次世代リアルタイムOSを開発し、実証システムにより様々な検証を行い、組込みシステム用プラットフォームの構築を行った。

キーワード：組込みシステム、プラットフォーム、ソフトウェア部品、再利用性、開発効率

### 1. 緒言

複雑化する製品開発において組込みソフトウェアの開発が製品の付加価値、ひいては市場競争力を左右する決定的な要因になってきている。こうした背景から、組込みシステムは年々、指数関数的に大規模化、複雑化しているが、一方ではビジネス的な観点から開発期間は逆に短縮される傾向にあり、開発現場では非常に大きな問題になっている。

一般に、組込みソフトウェアの開発期間を短縮するにはソフトウェア部品の再利用が効果的であることが知られている。組込みソフトウェアの構造を図1に示す。OSとアプリケーションの間にハードウェア独立なミドルウェアの層を設け、よく利用される機能を実装している。アプリケーション開発時には、ミドルウェアを活用することにより、新規開発部分を極力減らし、開発効率を上げることができる。代表的なミドルウェアにはネットワーク・プロトコルスタックのTCP/IPやファイルシステムが挙げられる。

製品群での「ソフトウェア部品の共通化」を積極的に推し進めた最終的な形態はプラットフォーム(Platform)と呼ばれており、例えば、家庭用TV、カーナビ、携帯電話といった全く異なる製品群に対しても共通のプラットフォームを使用して構築しておけば、家庭用TVで最初に実現された地上波デジタル放送受信機能を再利用して、カーナビや携帯電話にも短期間でワンセグ受信機能を追加することができる(図2)。携帯電話、情報家電など一定規模のマーケットを持つ製品分野では、いくつかのプラットフォームに収斂されつつある。しかし、小規模マーケットの製品のカバーが遅れており、中小企業向けプラットフォームの必要性が増してきている。

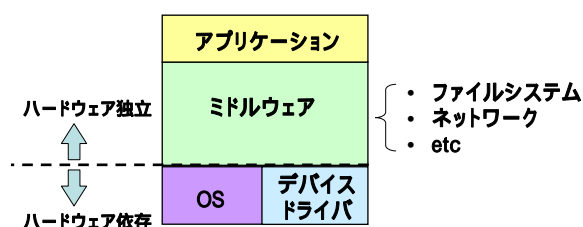


図1 組込みソフトウェアの構成

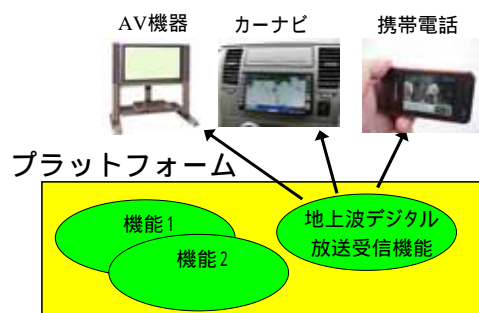


図2 プラットフォームによる開発期間の短縮

これまで当センターでは、TOPPERSプロジェクト<sup>1),2)</sup>と共同でリアルタイムOSの開発および公開を行ってきた。また、代表的なソフトウェア部品であるファイルシステムは平成16～17年度研究開発事業「組込みシステム向けミドルウェアの開発」にて開発し、FatFs for TOPPERSとして公開されており<sup>3)</sup>、TCP/IPプロトコルスタックは苫小牧高専からTINETがフリーソフトウェアとして発表されている。<sup>4)</sup>

リアルタイムOSはそれ自身がソフトウェア部品であるばかりでなく、他のソフトウェア部品の再利用性を促進する重要な役割を果たしている。本研究では、次世代リアル

タイムOSを開発し、様々な検証を行うと共に、ファイルシステムやTCP/IPプロトコルスタックと組み合わせた実証システムによる実証試験を行ない、組込みシステム用プラットフォームの構築を行った。

## 2. 開発方法

### 2.1 設計方針

組込みシステム向けリアルタイムOSに求められる条件を表 1に示す。技術移転先として想定している県内企業では小規模なシステム開発が多いため、システム規模や生産数量などのファクターも考慮している。

表 1 組込みシステム向けリアルタイムOSに求められる条件

<b>プロセッサ対応</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>組込みシステムで用いられる代表的なプロセッサに対応していること</li> <li>低コストで、少数ロットでも入手容易なこと</li> </ul>
<b>コンパイラ対応</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>半導体メーカー製コンパイラに対応していること</li> </ul>
<b>ソフトウェア部品の再利用性</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>プロセッサの違いをOSが吸収すること</li> </ul>
<b>オーバーヘッド</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実行時のオーバーヘッドが少ないこと</li> <li>メモリ消費量が少ないこと</li> </ul>
<b>移植性</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>デバイス依存部分が分離されていること</li> <li>自社製品のハードウェアに容易に対応できること</li> </ul>
<b>ライセンス</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2次利用可能なこと</li> <li>この成果物を使用したソフトウェアや派生物に対して、ソースコードの開示義務がないこと</li> </ul>
<b>オープンソース</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>カスタマイズするため、ソースコードが開示されていること</li> </ul>

### 2.2 割り込み処理モデルの標準化

ここでは、ソフトウェア部品の再利用性に与える影響が大きい割り込みアーキテクチャの扱いについて述べる。割り込みアーキテクチャはプロセッサ毎の違いが大きく、μITRON仕様<sup>5)</sup>ではオーバーヘッドを低減するため、割り込みコントローラの設定方法を規定せず、実装依存としてきた。しかし、最近はプロセッサの性能向上により、実行時のオーバーヘッドよりデバイスドライバの移植性の方が相対的に大きな問題になっている。この状況を踏ま

えて、ASPカーネル<sup>1)</sup>では、割り込み処理モデルを標準化している<sup>6)</sup>。割り込み処理モデルの標準化を図 3に示す。具体的には

- ・割り込み優先度の設定
- ・トリガモードの設定  
(エッジトリガ/レベルトリガの選択)
- ・割り込み要求の個別禁止/許可
- ・割り込み要求の全禁止/許可

の方法を標準化し、アプリケーション設計者はプロセッサの割り込みアーキテクチャの詳細を知らなくてもカーネルのAPIを呼び出すだけで、これらの機能が使用でき、(外部)デバイスの制御に専念することができる。そのため、プロセッサに依存しない形でデバイスドライバを作成することができ、デバイスドライバの再利用を促進できる。この標準化の効果を図 4に示す。

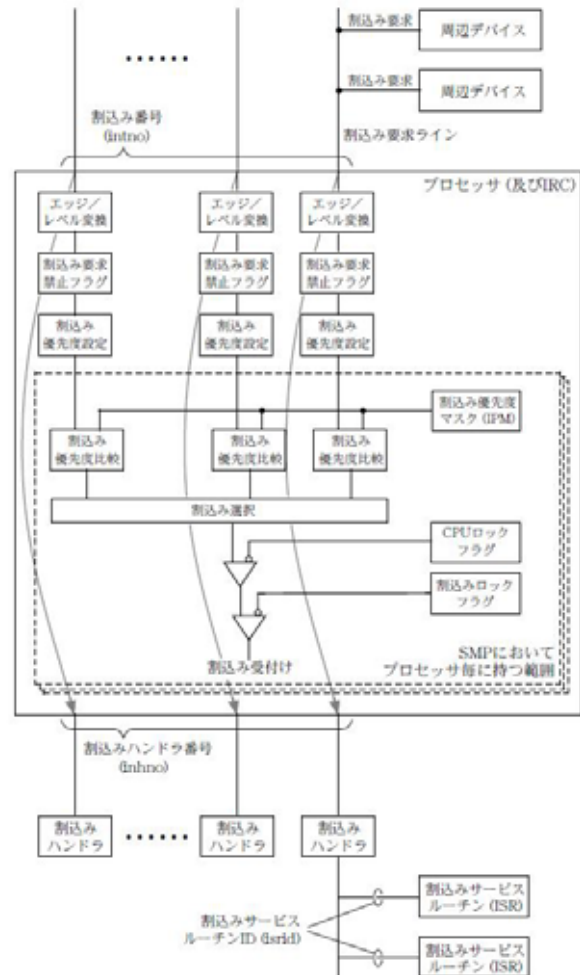


図 3 割り込み処理モデルの標準化<sup>7)</sup>

<sup>1)</sup> Advanced Standard Profile Kernel

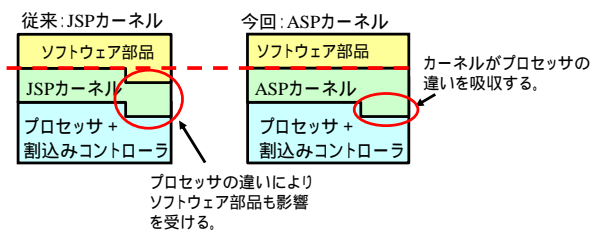


図 4 割込み処理モデル標準化の効果

### 2.3 開発方針

従来のJSPカーネル<sup>2</sup>と比較した次世代リアルタイムOS ASPカーネルの改善点を表 3に示す。ソフトウェア部品の再利用性、信頼性など観点から、割込み処理モデルの標準化のような大きな変更から細かな変更まで改良点は多岐に渡る。信頼性の面では、TOPPERSプロジェクトにて航空宇宙機器向けに開発されたHRPカーネル<sup>3</sup>で培われた技術もASPカーネルに導入されている。

### 2.4 検証

ソフトウェアの検証には、表 2に示すように実際に動作させてテストする動的検証と、実行はしないでソースコードの検査を行う静的検証の2種類があり、本研究では両方の検証を行う。静的検証では、静的解析ツールであるQAC<sup>9</sup>を用いた。

表 2 ソフトウェアの検証

1. 静的検証
ターゲット上で実行しないで、ソースコードの検査を行う。
2. 動的検証
実際にターゲット上で動作させて、テストを行う。本研究で行った検証項目は以下の通り。
・テストプログラム SH2A用ASPカーネルに対して行う。
・実証システム リアルタイムOS、ファイルシステム、TCP/IPプロトコルスタックを組み合わせた実証システムを作成し、動作検証を行う。

表 3 JSPカーネルと比較したASPカーネルの改善点

1. 割込み処理機能については、TOPPERS標準割込み処理モデルに準拠させる。
2. μITRON4.0仕様のスタンダードプロファイル外の機能の一部を導入する。
<ul style="list-style-type: none"> <li>・イベントフラグの複数タスク待ち</li> <li>・アラームハンドラ</li> <li>・割込みサービスルーチン</li> <li>・割込み管理機能</li> <li>・オブジェクトの状態参照機能</li> </ul>
3. 一部の仕様について、μITRON4.0仕様に対して変更を加える。
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ITRON標準データ型の見直し</li> <li>・非タスクコンテキストからのext_tsk</li> <li>・CPU例外ハンドラで行える操作</li> <li>・カーネルの用いる管理領域の分離</li> <li>・処理単位とメモリ領域のデータ型の見直し</li> <li>・値が0の定数(オブジェクト属性等)の見直し</li> <li>・強制待ち要求ネスト数の最大値の固定</li> <li>・システム時刻の設定機能の廃止</li> </ul>
4. JSPカーネルにおける独自の拡張機能を一部変更して実装する。
<ul style="list-style-type: none"> <li>・性能評価用システム時刻参照機能</li> <li>・終了処理ルーチン機能</li> <li>・カーネル動作状態の参照</li> </ul>
5. ASPカーネルにおける独自の拡張機能を新たに実装する。
<ul style="list-style-type: none"> <li>・割込み要求ラインの属性の設定</li> <li>・同期・通信オブジェクトの再初期化機能</li> <li>・優先度データキューの新設</li> <li>・自タスクの拡張情報の参照</li> <li>・カーネルの終了</li> <li>・非タスクコンテキスト用のスタック領域の設定</li> </ul>
6. JSPカーネルにおける実装定義 / 実装依存規定に変更を加える。
<ul style="list-style-type: none"> <li>・アプリケーション向けのインクルードファイルの構成の整理</li> <li>・割込み処理 / 例外処理関連の型の定義の変更</li> <li>・処理単位の実行開始 / リターン時のシステム状態の規定</li> <li>・isig_timの扱いの変更</li> <li>・カーネルの用いる領域の指定方法</li> <li>・カーネル管理外の割込みの扱いの規定</li> </ul>
7. システムコンフィギュレーション処理を全面的に見直す。
TOPPERS新世代カーネル用コンフィギュレータの導入

<sup>2</sup> Just Standard Profile Kernel

<sup>3</sup> High Reliable Profile Kernel

## 2.5 開発機材

開発に用いたマイコンボードを図 5に、機材の諸元を表 4および表 5に示す。SH2Aマイコンについては、半導体メーカー純正品のHEW<sup>4</sup>とフリーソフトウェアのgcc<sup>5</sup>の2種類の処理系に対応した。開発機材は、公開後の成果普及を考慮して、表 4、表 5に示すように極力安価なものを選定している。



図 5 開発に使用したSH2Aマイコンボード

表 4 H8マイコン開発機材・諸元

種別	型番	メーカー (開発元)
ターゲット環境		
プロセッサ	H8/3048F-ONE	(株)ルネサステクノロジ
ボード	H8/3048F-ONE スタターキット	(株) 北斗電子
ホスト環境		
処理系	HEW V.4.04.04. 001 H8/300H、H8S シリーズ C/C++コンパイラ、アセンブラ、最適化リンケージエディタ コンパイラパッケージV.6.1.2.0(h8c)	(株)ルネサステクノロジ
JTAG <sup>6</sup> デバッガ	E10T-USB Emulator	(株)ルネサステクノロジ

表 5 SH2Aマイコン開発機材・諸元

種別	型番	メーカー (開発元)
ターゲット環境		
プロセッサ	SH2A (SH7211)	(株)ルネサステクノロジ
ボード	AP-SH2A-0A	(株) アルファプロジェクト
ホスト環境		
処理系(1)	HEW V.4.04.01. 001 SuperH. RISC engine C/C++コンパイラ、アセンブラ、最適化リンケージエディタ コンパイラパッケージV.9.1.1.0(shc)	(株)ルネサステクノロジ
処理系(2)	gcc-4.1 <sup>9)</sup>	GNU
JTAG デバッガ	Xross Finder	(株) アルファプロジェクト

## 3. 開発結果及び考察

個々のソフトウェア部品の有効性を実証するため、TOPPERS/JSPカーネルとファイルシステムFatFs for TOPPERS、TCP/IPプロトコルスタックTINETからなる実証システム(Webサーバシステム)を開発し、平成19年5月16日(水)～18日(金)に東京で開催された第10回 組込みシステム開発技術展ESEC2007<sup>7</sup>および平成19年11月14日(水)～16日(金)に横浜で開催された組込み総合技術展ET2007<sup>8</sup>にてブース展示を行った(図 6)。

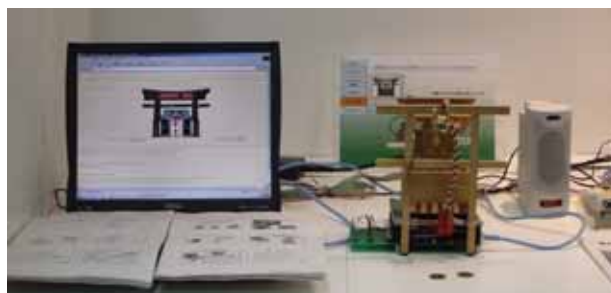


図 6 実証システム(Webサーバシステム)

また、SH2A用ASPカーネルに対して、静的解析と動的解析の両面で検証を行った。静的解析では、静的解

<sup>4</sup> High-performance Embedded Workshop

<sup>5</sup> the GNU Compiler Collection

<sup>6</sup> Joint Test Action Group

<sup>7</sup> ESEC2007: 10th Embedded Systems Expo

<sup>8</sup> ET2007: Embedded Technology 2007

析ツールQACを用いて検証を行った。動的検証では、17種類の検証プログラムおよび4種類の性能評価を行った。テストプログラムにより検証を行った項目を表 6 に、性能評価を行った項目を表 7 に示す。

表 6 テストプログラムにより検証を実施した項目

No.	テスト項目	テスト数
1	CPU例外処理のテスト	13
2	システム状態に関するテスト	1
3	タスク管理モジュールのテスト	1
4	タスク例外処理に関するテスト	2
	合計	17

表 7 性能評価を実施した項目

No.	評価項目
1	タスク起床による待ち解除
2	優先度付きデータキュー送信による待ち解除
3	イベント通知による待ち解除

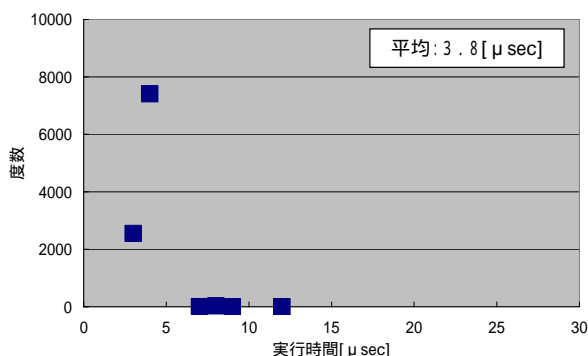


図 7 性能評価によるオーバーヘッドの度数分布

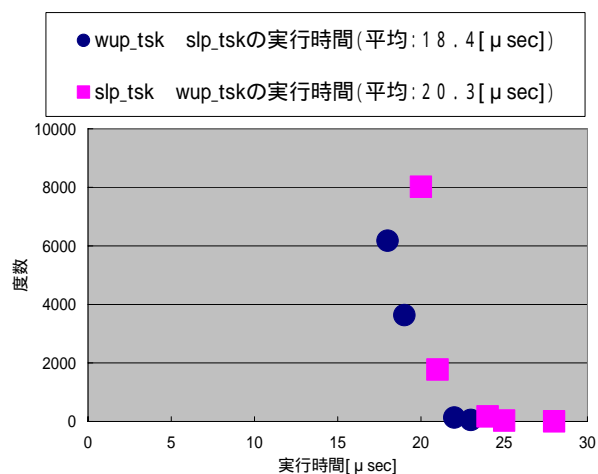


図 8 wup\_tskの実行時間の度数分布

性能評価プログラムのオーバーヘッドを図 7 に、サービスコールwup\_tsk(タスク起床要求) / slp\_tsk(タスクの起床待ち)の実行時間を図 8 に示す。共に試行回数 10000 回の場合の度数分布で示している。計測条件は、クロック周波数 160MHz、命令コードを内蔵フラッシュ ROM に配置し、非タスクコンテキストのスタック領域を内蔵 RAM に、タスクコンテキストのスタック領域を外部 SRAM に配置した。計測の結果、これらのサービスコールの実行時間は実質 約 16 μsec であり、当初目標である低オーバーヘッドを実現している。

開発成果である ASP カーネルは平成 20 年 5 月 14 日より TOPPERS プロジェクト公式サイトにて公開している<sup>9)</sup>。本研究により、動作検証された形でリアルタイム OS、TCP/IP プロトコルスタック、ファイルシステムの主要なソフトウェア部品がそろい、組込みシステム用プラットフォームとしての適用範囲が大幅に広がる。そのため、県内企業にとって利用しやすいものになり、技術移転が促進されることが期待できる。具体的には県内企業を対象とした技術改善支援などのサービス業務、Web サイトへの掲載等のプロモーション活動、組込みソフトウェア研究会 ((財)みやぎ産業振興機構 主催) における技術セミナー、産業技術連携推進会議 組込み技術研究会における若手技術者育成セミナー等により積極的に開発成果の普及啓蒙を図る。

#### 4. 結言

組込みシステム向けのプラットフォームを構築するため、新世代リアルタイム OS ASP カーネルを開発し、県内企業でよく用いられる代表的なプロセッサおよび開発環境への対応を行った。また、ソフトウェア部品の有効性を実証するため、実証システムを開発すると共に、上記 ASP カーネルの静的 / 動的検証を行った。本研究により、小規模、中規模の組込みシステムのプラットフォームが構築できた。

次年度は、これらのソフトウェア部品の普及を進めると共に、図 9 に示すようにマルチプロセッサ向けリアルタイム OS を開発し、超高性能 / 低消費電力を必要とする大規模システムの製品分野にも対応して行く予定である。

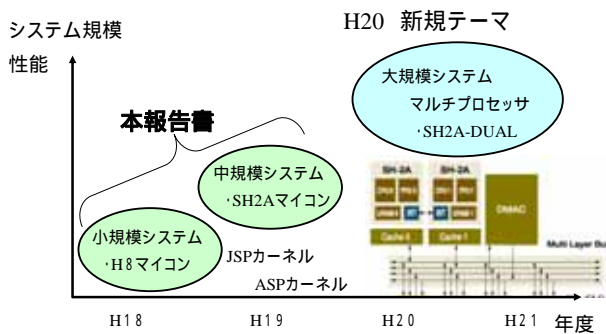


図 9 今後の展望

### 参考文献

- 1 TOPPERS プロジェクト公式サイト  
<http://www.toppers.jp/>
- 2 TOPPERS プロジェクト: TOPPERS/JSP カーネル  
<http://www.toppers.jp/jsp-kernel.html>
- 3 TOPPERS プロジェクト: FatFs for TOPPERS  
<http://www.toppers.jp/fatfs.html>
- 4 阿部司 :ITRON TCP/IP V4 の開発, 平成 15 年度  
地域新生コンソーシアム事業「組込みシステム・  
オープンプラットフォームの構築と実用化開発」成果  
報告書(2003), p.3-2-4
- 5 トロン協会:  $\mu$ ITRON4.0 仕様書 (Ver. 4.02.00),  
(1999)  
<http://www.ertl.jp/ITRON/SPEC/mitron4-j.html>
- 6 TOPPERS プロジェクト: TOPPERS/ASP カーネル  
<http://www.toppers.jp/asp-kernel.html>
- 7 TOPPERS プロジェクト: 「TOPPERS 標準割込み処理  
モデル」(2007)
- 8 (株)東陽テクニカ 静的解析ツール QAC  
<http://www.toyo.co.jp/ss/qac/>
- 9 GCC 4.1 バイナリパッケージ  
[http://www.superh-tkernel.org/jpn/download/too  
ls/index.html](http://www.superh-tkernel.org/jpn/download/tool/index.html)

## 微細切削加工に関する研究

渡邊洋一\*・和嶋直\*\*・久田哲弥\*

\*材料開発・分析技術部・\*\*企画事業推進部

工業製品の急速なダウンサイジング化、高密度化、高機能化により、微細形状の金型やMEMSパッケージなど、従来の機械加工では加工困難な微細形状(マイクロメートルオーダー)加工の実現が求められている。これらの加工は半導体製造技術やサンドブラスト技術などで実施されているが、加工能率・精度の面で不向きである。本研究では、単結晶シリコンとガラス材への小径工具による微細切削条件を検討し、自由曲面、穴、溝形状を加工できる技術を開発した。

キーワード: 単結晶シリコン、ガラス、切削加工、エンドミル

### 1. 緒言

単結晶シリコンは半導体製造プロセスで作製されるMEMS回路の材料や、赤外線に対する屈折率の高さより、光学レンズの材料として利用されている。また、ガラス材はMEMSパッケージや半導体の実装基板として利用されている。これらの材料は半導体製造プロセスにより $\mu\text{m}$ ～mmオーダーのサイズで製造されているが、加工能率が悪い、任意形状が加工できない等の問題がある。一方、切削加工に用いられる工具は近年小径化が進み、直径0.1mm以下の工具が製造されるようになった。これにより、マイクロメートルオーダーの切削加工が実現可能となったが、単結晶シリコンやガラス材といった脆性材料の切削加工技術は確立されていない。

本研究では、単結晶シリコンの光学レンズとMEMSパッケージガラスを製品ターゲットとし、それぞれの材料について微細切削加工技術を確立する。

### 2. 単結晶シリコンの微細切削加工技術の開発

単結晶シリコンの切削加工に関する研究では、東北大学(厨川研究室 閻准教授)にて負のスキ角を持つダイヤモンドバイトによる旋削加工を行っており、切込深さを $1\mu\text{m}$ 以下にすることで延性モード切削が実現されることが報告されている。<sup>1</sup>本研究ではこれらの情報を踏まえ、負のスキ角を持つcBN製ボールエンドミルを用いて単結晶シリコンの切削加工条件を確立する。実験では切削速度と送り量をパラメータとし、表面性状の観察と表面粗さを評価項目とした。また、最適化された条件を基に、レンズ形状と三次元の立体形状の試作を実施した。

#### 2.1 切削条件の最適化

##### 2.1.1 実験方法

cBN製ボールエンドミルによる単結晶シリコンの切削加工実験を行い、切削条件(切削速度及び送り量)が加工表面に与える影響について調査を行った。実験は直径0.4mmのcBNボールエンドミルを使用し、工具を軸方向に切り込んだ後(図1- )、X軸方向に走査させる方法(図1- )で実施した。被削材は厚さ0.5mmのシリコンウエハである。詳細な加工条件については表1に示す。加工後の表面は走査型電子顕微鏡(SEM)による表面の観察と、表面粗さ計による表面粗さの評価を行った。

加工実験には東芝機械(株)製F-MACH442を使用し、表面性状の評価には走査型電子顕微鏡、表面粗さの評価には非接触三次元表面粗さ測定機(Taylor Hobson社製タリサーフCCI6000)を使用した。

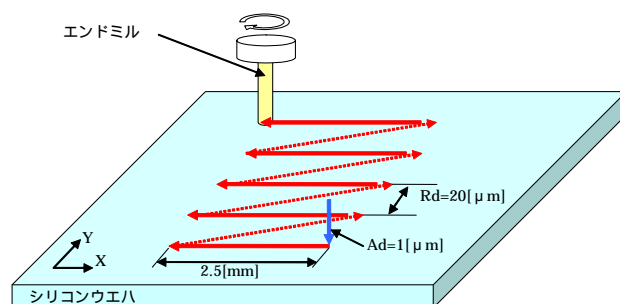


図1 工具軌跡 ← : 工具軌跡

表1 加工条件

工具	cBNボールエンドミル (日進工具製 SFB200 0.2R)
回転数	10,000～60,000 [ /min. ] (10,000[ /min. ]毎)
切込	Ad(軸方向切込量)1.0 [ $\mu\text{m}$ ] Rd(径方向切込量)20.0 [ $\mu\text{m}$ ]
送り量	0.1～10.0 [ $\mu\text{m}/\text{tooth}$ ]
冷却方法	オイルミスト

予備実験の結果より最適化された条件である。

## 2.1.2 実験結果

図2に回転数10,000[ $\text{min.}$ ]、一刃あたりの送り量(以後「送り量」と表す)1.5[ $\mu\text{m}$ ]の加工表面のSEM画像を示す。表面に数 $\mu\text{m}$ の空孔や割れが発生している様子が観察された。図3に回転数20,000[ $\text{min.}$ ]、送り量0.75[ $\mu\text{m}$ ]の加工表面観察像を示す。工具切れ刃の軌跡に従って微小割れ・むしれが発生している。図4に回転数30,000[ $\text{min.}$ ]、送り量0.83[ $\mu\text{m}$ ]の加工表面観察像を示す。表面に割れ・欠けが無く良好に加工されている様子が観察された。図5に表面性状の観察結果を示す。グラフの横軸は切削速度、縦軸は送り量を示し、良好な加工表面を「○」、微小割れ・むしれがあるものを「△」、空孔・割れがあるものを「◇」で表記した。送り量が概ね1.0[ $\mu\text{m}$ ]以下であれば、切削速度によらず割れない表面が得られることが分かった。

図6に切削速度と二次元表面粗さ( $R_z$ )の相関関係を示す。送り量1 $\mu\text{m}$ 以下において切削速度が5.0~6.3[m/min.]すなわち工具回転数40,000~50,000[ $\text{min.}$ ]にて表面粗さが極小値となり、0.2[ $\mu\text{m}$ ]  $R_z$ 以下となることが分かった。

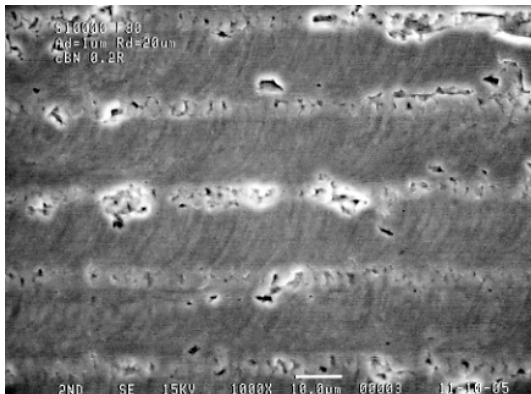


図2 回転数10,000[ $\text{min.}$ ] 送り1.5[ $\mu\text{m}$ ]の表面

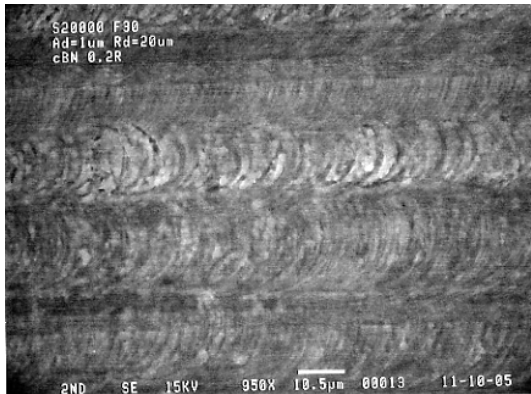


図3 回転数20,000[ $\text{min.}$ ] 送り0.75[ $\mu\text{m}$ ]の表面

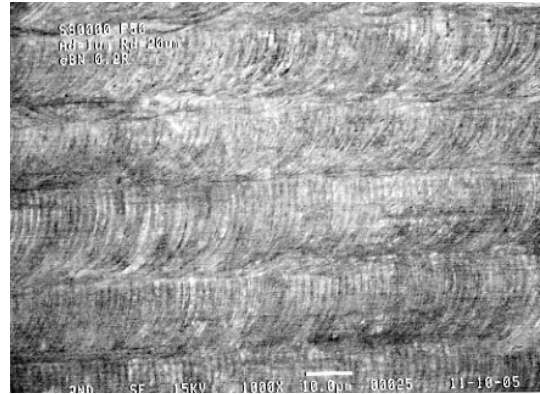


図4 回転数30,000[ $\text{min.}$ ] 送り0.83[ $\mu\text{m}$ ]の表面

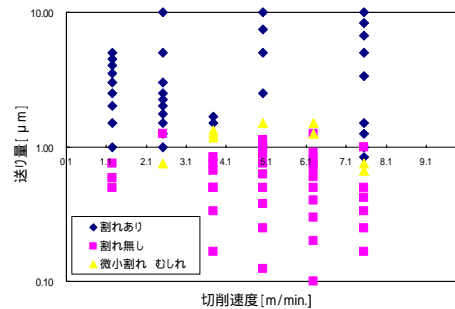


図5 表面性状の観察結果

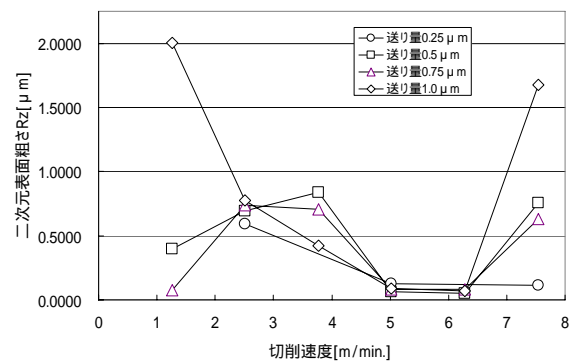


図6 切削速度と表面粗さの関係

## 2.2 レンズ形状及び三次元形状作製

実験結果をもとにレンズ形状と三次元形状の切削加工を実施した。レンズ形状は直径0.688[mm]、高さ50[ $\mu\text{m}$ ]、曲率半径1.211[mm]である。加工条件は表2のとおりである。図7に加工表面観察像を示す。加工時間は28分であった。表面に割れ・欠け無く良好に加工することが可能となった。

表2 加工条件

工具	cBNボールエンドミル 0.2R
回転数	40,000 [/ $\text{min.}$ ]
切込	Ad(軸方向切込量)1.0 [ $\mu\text{m}$ ]
送り速度	100 [m/min.]
冷却方法	オイルミスト



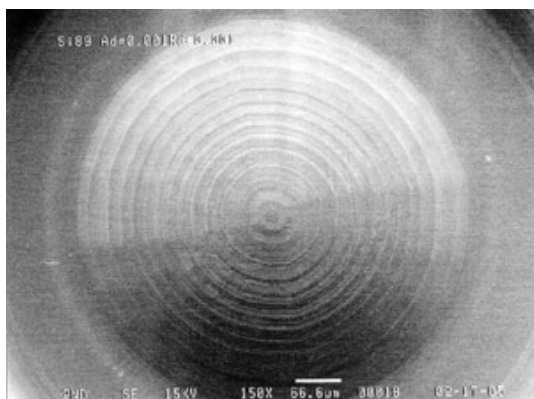


図7 レンズ形状の加工表面

三次元形状として、1辺の長さ0.1[mm]、高さ0.35[mm]の角柱モデルを作製した。モデルは三次元CADで設計した。加工条件は表3のとおりである。図8に加工されたモデルの観察像を示す。加工時間は1時間21分であった。表面に微小な欠陥が無く、良好な加工表面を得ることができた。

表3加工条件

工具	cBNボールエンドミル (日進工具製 SFB200 0.1R)
回転数	50,000 [/min.]
切込	Ad(軸方向切込量)1.0 [ $\mu\text{m}$ ] Rd(径方向切込量)1.0 [ $\mu\text{m}$ ]
送り速度	50 [m/min.]
冷却方法	オイルミスト

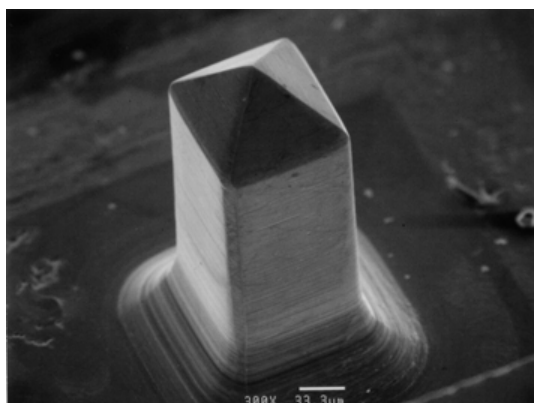


図8 角柱モデル

### 3. ガラス材の微細切削加工技術の開発

MEMS回路のパッケージガラスや、ガラス製マイクロTASなどの加工は近年盛んに研究が進められており、半導体製造プロセス、切削加工、サンドブラスト法など様々な手法が検討されている。特にMEMSパッケージガラスはサイズがミリメートルオーダーであり、エッチングによる加工ではプロセス時間が膨大となり、実用化が難し

い。一方サンドブラストは低コストで加工が可能であるため、実用化が進んでいるが、チッピングなどの影響で精度が得られない問題が発生している。切削工具によるガラスの加工は、加工機の主軸を傾斜させ、微小切込で実現可能であることが報告されている<sup>2</sup>が、工具を傾斜させることでNCプログラムが煩雑になるなどの課題がある。そこで、本研究では、立型のNCフライス盤でガラスの切削加工が可能、工具の形状と切削条件を検討し、穴形状・溝形状の試作を実施した。

### 3.1 工具形状の検討と切削条件の最適化

#### 3.1.1 ラジラスエンドミルによる切削加工実験

MEMSパッケージガラスの加工は主に穴、溝、ポケット形状である。よって、切削加工を行う工具形状は主にフラットエンドミル、ラジラスエンドミルを使用する。予備実験の結果、ラジラスエンドミルでチッピングが少なく、良好な結果であったため、本実験では、ラジラスエンドミルを用いた。

実験では、cBN製のラジラスエンドミルを使用し、表4の切削条件で加工実験を実施した。工具動作方法は図1に示したとおりである。ガラス材はテンボックスを使用した。加工後の表面を電子顕微鏡で観察し、切削速度が、加工表面性状に与える影響について調査した。

表4加工条件

工具	cBNラジラスエンドミル (日進工具製 SSR200 0.5)
回転数	10,000 ~ 50,000 [/min.] (10,000[/min.]毎)
切込	Ad(軸方向切込量)5.0 [ $\mu\text{m}$ ] Rd(径方向切込量)20.0 [ $\mu\text{m}$ ]
送り量	0.5 [ $\mu\text{m}/\text{tooth}$ ]
冷却方法	水道水に浸漬

#### 3.1.2 実験結果

図9に回転数10,000[/min.]、の加工表面観察像を示す。加工表面全体に細かい欠けが発生している様子が観察された。一方、図10に回転数40,000[/min.]の加工表面観察像を示す。工具中心部分に当たる部分の加工面には細かい割れが発生しているが、工具の外周部分付近に当たる部分の加工面は割れなく良好に仕上がっている様子が観察された。これは回転工具において、切削速度が回転中心に向かうほど小さくなるため、工具中心部分では適切な切削速度が得られない。よって溝中心付近に割れが生じるものと思われる。

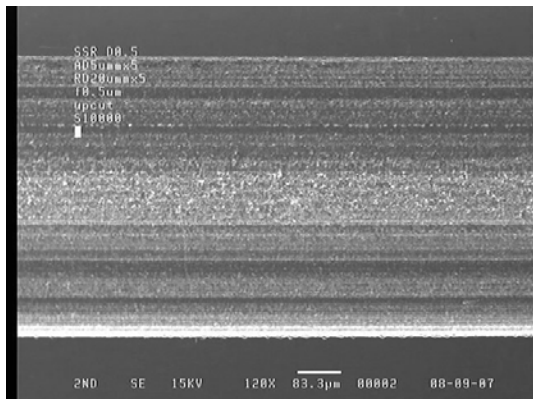


図9 回転数10,000[ /min.]の加工表面

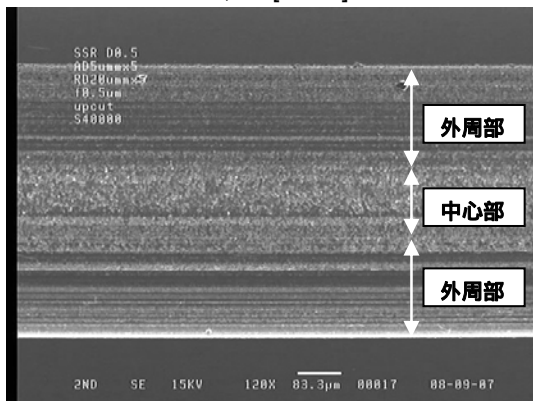


図10 回転数40,000[ /min.]の加工表面

### 3.1.3 一枚刃ラジラスエンドミルによる切削加工実験

ラジラスエンドミルによる加工実験の結果を踏まえ、中心部分の切れ刃が逃げている一枚刃のラジラスエンドミルにて加工実験を行った。工具形状は図11のとおりである。刃先中心部分の切れ刃を逃がしている構造をとっているため、切れ刃が図中A拡大部分の破線部分になっている。よって、切れ刃全体での速度勾配が無くなり、適切な切削速度が得られる構造になっている。

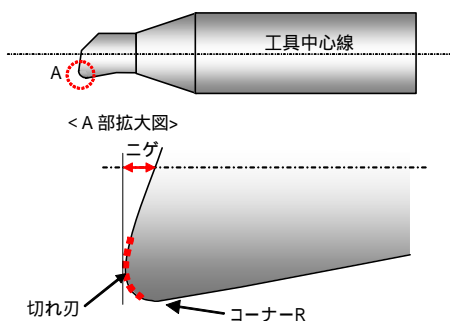


図11 一枚刃cBNラジラスエンドミルの構造  
(日進工具 SSF120)

実験は表5の切削条件で溝加工を実施した。表面性状の評価には走査型電子顕微鏡、表面粗さの評価には非接触三次元表面粗さ測定機を使用した。

表5実験条件

工具	cBN一枚刃ラジラスエンドミル (日進工具製 SSF120 0.5)
回転数	10,000 ~ 60,000 [ /min.] (10,000[ /min.]毎)
切込	Ad(軸方向切込量)1.0 [ µm ]
送り速度	5.0 [mm/min.]
冷却方法	水道水に浸漬

### 3.1.4 実験結果

図12に回転数10,000[ /min.]の加工表面観察像を示す。加工面全体に細かい割れが生じている様子が観察された。図13に回転数50,000[ /min.]の加工面観察像を示す。溝のエッジ部分と表面に微小な割れが散見されるが、良好な表面が得られている様子が観察された。

図14に工具回転数と二次元表面粗さの相関関係を示す。工具回転数10,000 ~ 20,000[ /min.]においては表面に発生している細かい割れの影響で表面粗さが悪化しているが、30,000[ /min.]以上の条件では加工面の割れが抑制されるため、表面粗さが改善することが分かった。また、表面粗さ値は回転数50,000[ /min.]で極小値となり、8.2[nm]Rz以下となることが分かった。

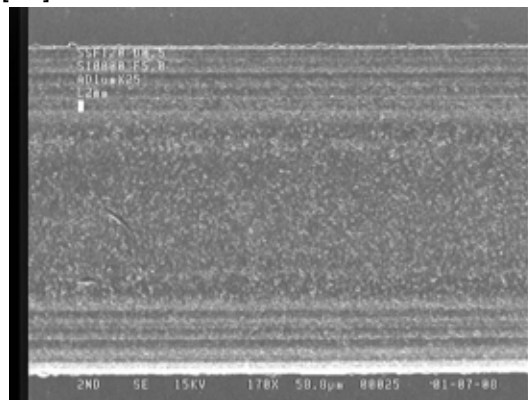


図12 回転数10,000[ /min.]の加工表面

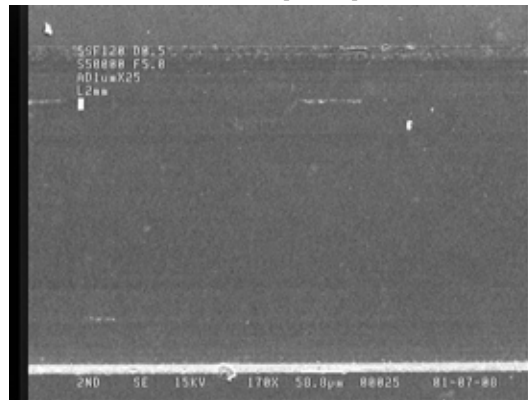


図13 回転数50,000[ /min.]の加工表面

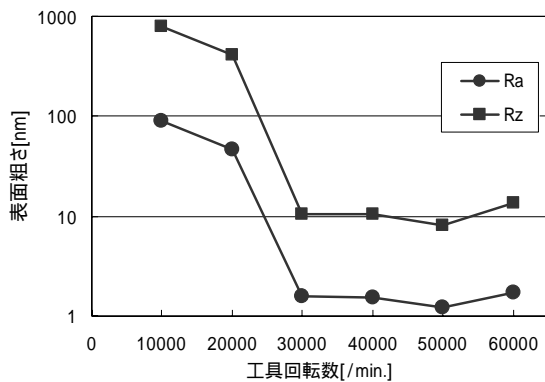


図14 切削速度と表面粗さの関係

### 3.2 加工事例

テンパックスガラスに 0.5mmの工具にて穴・溝加工を実施した。加工条件は実験の結果を踏まえ、工具回転数50,000[1/min.]とした。その他の条件は表5のとおりとした。なお、穴加工では被削材と同じ材料をバックアッププレートとして接着し、ステップフィード送り方式とした。図15に光学顕微鏡で観察した加工結果を示す。加工時間は1穴あたり10分であった。工具は入り口側のエッジ部分のチッピングも少なく良好な加工面を得ることが出来た。図16に溝加工の結果を示す。工具切込位置で割れが観察されるものの、全体的に割れなく良好に加工することができた。



図15 穴加工事例



図16 溝加工事例

### 4. 結言

単結晶シリコンおよびガラス材の微細切削加工について、以下の知見が得られた。

cBNボールエンドミルによる単結晶シリコンの微細切削加工について

- ・送り量が1[μm]以下で割れの無い良好な加工表面を得ることができる。
- ・切削速度 5.0 ~ 6.3[m/min.](回転数 40,000 ~ 50,000[1/min.])にて表面粗さが最小値となる。
- ・レンズ形状及び三次元形状のモデルの切削加工を行い、割れの無い良好な表面を得ることができた。

ガラス材の微細切削加工について

- ・切削速度が低くなる工具中心部分の切れ刃での加工面では割れが発生する。
- ・中心刃が逃げている一枚刃エンドミルにて良好な加工表面を得ることが可能である。
- ・切削加工条件として、工具回転数50,000[1/min.]、切込量1.0[μm]が最適値である。
- ・穴・溝加工を行い、チッピングの無い良好な加工面を得ることができた。

### 参考文献

- 1) 閻 紀旺他 庄司克雄 鈴木浩文 厨川常元:「ダイヤモンド平バイトを用いた単結晶Siの延性モード切削」精密工学会誌 Vol.64, No9, 1998
- 2) 松村隆 他:「小径ボールエンドミルによる石英ガラスの切削特性」2005年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集

## 歩行運動負荷の分析と製品への応用

太田靖 ・ 小松迅人・ 宮田登  
機械電子情報技術部

近年、一般機器や作業環境においても、人間工学に基づく使いやすい快適なものが望まれるようになってきている。ところが、この「使いやすさ」等を計測・定量化することが難しいため、優れた製品でも差別化が図れない状況にある。本研究では、高齢者や工場内作業者が履く靴を対象に、歩きやすさ・疲れにくさの評価技術確立に向けて、長時間歩行後の疲労評価方法を検討し、腰部の鉛直方向加速度等いくつかの評価指標が有効であることを確認した。

キーワード：歩行、動作計測、疲労評価、重心動揺、加速度、足底圧

### 1. 緒言

近年、高齢社会化に伴う医療費増大への対策として、運動による健康維持・増進が推進されているが、その中でも手軽に始められる運動としてウォーキングがあり、総務省による平成18年度の社会生活基本調査によると国民の30%以上が行っていると答えている。このような背景のもとに、ウォーキングに適した靴が数多く市販されて市場も大きい、歩きやすさ・疲れにくさを客観的に判断する指標がないため、選択に迷うのが現状である。

また、工場内等の作業環境においても、人間工学に基づく使いやすい快適なものが望まれるようになってきており、さまざまな作業靴が開発され販売されているが、その疲労軽減効果を数字で示せないと、結局は価格の安いものが選ばれ、優れた製品でも差別化が図れない状況にある。

そのため、歩行疲労を何らかの物理量計測により数値化する必要がある。まず考えられるのは立位姿勢保持や歩行に使われる筋(抗重力筋)の疲労を計測することである。一般に、筋疲労に伴い筋電は振幅が増大し周波数スペクトルのピークが低い周波数へシフトすることが知られている<sup>1)</sup>。また、誘発筋電図(M波)を用いて筋疲労を評価する方法<sup>2)</sup>も提案されている。一方、間接的であるが血液中の乳酸を計測する方法も行われている。しかしこれらの方法は、多数の電極を貼付したり採血が必要だったり被験者に対する負荷が大きく、立ち仕事やウォーキングなどの軽度かつ長時間運動の疲労評価には別の方法が望ましい。

そこで本研究では、被験者に対する計測負荷が小さく、かつ疲労軽減効果を定量的に計測できる疲労評価方法について検討した。

### 2. 歩行疲労の評価指標

#### 2.1 指標の検討

長時間歩行した場合、歩行開始直後は頭部や体幹はほとんど揺れることなく滑らかに進んでいても、次第に揺れや衝撃が大きくなっていく。いわゆる「足が棒になった」状態であるが、これは疲労につれて抗重力筋群のはたらきが低下し、歩行中の足の着地衝撃を緩和しきれずに身体全体の振動が大きくなるからである。従って、この歩行中の身体振動(衝撃)を計測すれば、疲労の目安になると考えられる。

同様に、抗重力筋群が疲労すると、立位姿勢を保つ機能も衰えて身体の揺れ(重心動揺)が大きくなると推測される。そこで、歩行開始前および終了後に静止立位状態での重心動揺を計測することとする。

また、足部の形態変化という物理量も考えられる。足部には衝撃を吸収するためのアーチがあり土踏まずが形成されているが、これが長時間歩行によりつぶれていくため、土踏まずが減少して足裏の地面に接する領域の面積が増えると考えられる。

被験者に対する計測負荷については、近年の健康増進市場の隆盛に伴い小型の万歩計に加速度センサを組み込んだものがいくつか市販され、手軽に計測できるようになってきている。このような機器のひとつに、平成17年度みやぎものづくり大賞の機械器具等製品部門グランプリを獲得したインテリジェント・カロリー・カウンタ(以下ICCと略記、(株)アイ・ティ・リサーチ製)があり、本研究ではこれを加速度計測に使用する。また、重心動揺および足底接地面積は、それぞれ床反力計、足底圧分布計測システムといった、その上に乗るだけで計測可能

な機器が利用できるため、被験者への計測負荷は非常に小さい。

## 2.2 評価方法

### 2.2.1 歩行疲労評価実験

長時間歩行による疲労を評価するため、歩行路として1周約6kmの周回コースを用いた。これは、計測機器の設置してある当センター敷地を含む区画の外周歩道で、信号のある横断歩道を渡ることなく連続歩行できる。

実験はまず、歩行中の加速度を連続的に計測できるICCを用い、被験者2名(いずれも30代男性)において通常の運動靴で上記のコースを1周ないし2周した。

次に、靴による歩行疲労の違いをみるため2種類の作業靴(インソールあり、インソールなし)を用意し、被験者3名(20代、30代、50代いずれも男性)により、靴ごとに計測日を変えて上記のコースを2周しその前後で重心動揺および足底圧分布計測を行った。なお、事前の官能試験(主観評価)では、インソールありの作業靴の方が明らかに疲れにくいという結果が得られている。

### 2.2.2 腰部加速度計測

加速度計測には、ICC(但し特殊仕様(ロガータイプ)のため東北大学大学院医学系研究科の好意により借用)を腰部背面に固定して用いた。サンプリングは1秒間に32回、加速度(3軸)および気圧が測定可能であり、計測終了後にUSBインターフェースでパソコンへデータを転送して処理を行った。ICCを被験者に取り付けた様子を図1に示す。

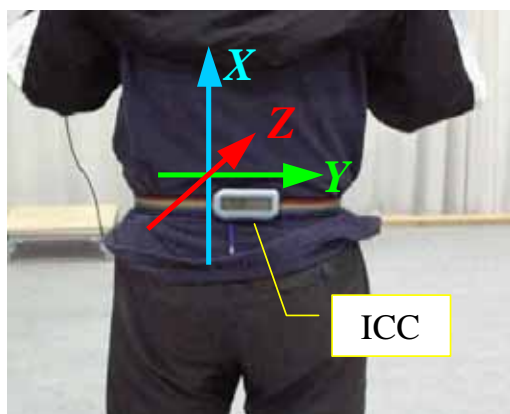


図1 ICCの装着位置

### 2.2.3 重心動揺計測

重心動揺計測には、床反力計(AMTI製、三次元動作解析システムVICON512の一部)を用いた。歩行に使用した靴と同じものを履いた状態で、歩行開始前および終了後に静止立位・閉眼状態でそれぞれ60秒間計測を

行った。

### 2.2.4 足底接地面積計測

重心動揺計測終了直後に、足底圧分布計測システム(FSCAN、ニッタ(株)製)を用いて足底接地面積を計測した。センサシート上には5mmピッチで片足につき1,000点以上の圧力計測ポイントがあり、足底の接地状態を調べることができる。ここでは、足部アーチのつぶれ具合をみるため裸足とし、静止立位・閉眼の状態で60秒間の足底圧分布を計測し、一定の閾値(60秒間の累積値が $5\text{g}/\text{cm}^2$ )以上の圧力がかかっている部分の面積を計算した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 歩行中の重心加速度

歩行開始直後および終了直前における、身体重心の鉛直方向加速度の計測データ例を図3(上半分)に示す。これをみると、歩行周期はほぼ同じであるが加速度波形の変化幅は終了直前の方が大きくなっており、歩行疲労により足の着地衝撃を緩和しきれない様子が表れている。そこで、この腰部振動の激しさを数値化するため、加速度波形の積分値を計算した。具体的には、加速度が $-1\text{G}$ の横軸をベースラインとし、このベースラインと波形とで囲まれた部分の面積を1秒間ごとに求めた。その結果を図3(下半分)に示す。また、3回の歩行実験についての積分値変化を図2に示す。

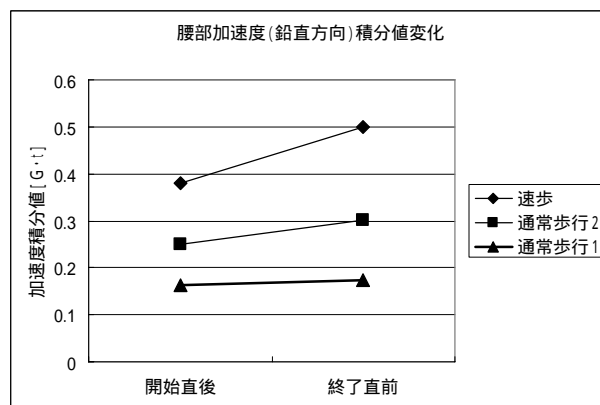


図2 腰部加速度(鉛直方向)の積分値

これをみると、歩行強度が大きいほど加速度積分値の増加が大きくなることが示されており、歩行疲労の程度をよく反映している指標と考えられる。

また、歩行中に計測するため、データが即時に取得でき、また積分計算も比較的単純な処理(1秒間ごとの

累積加算)で済むためICCに疲労判定機能を組み込むことも可能と思われる。

被験者3名における重心動揺面積を図5に示す。

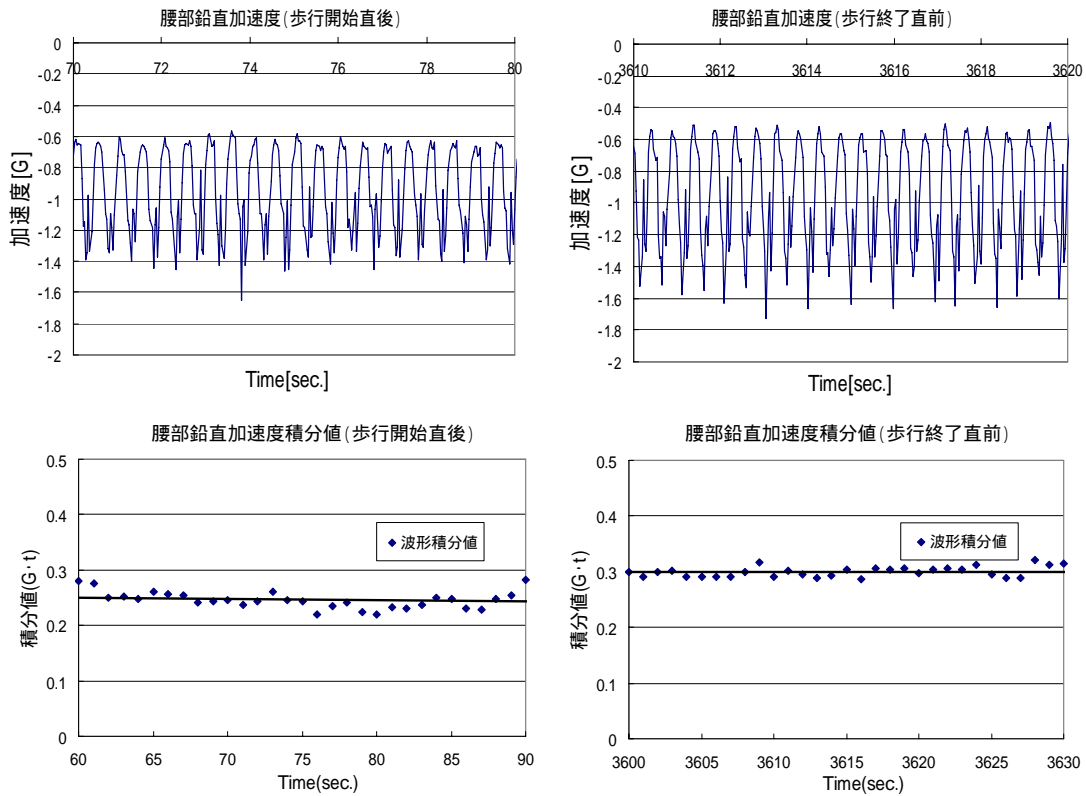


図3 腰部鉛直加速度・積分値

### 3.2 静止立位時の重心動揺

歩行終了後の重心動揺計測結果の一例を図4に示す。これは重心位置を床面に投影した点の60秒間の軌跡である。この軌跡全体を囲む最小の矩形の面積を重心動揺面積とした。

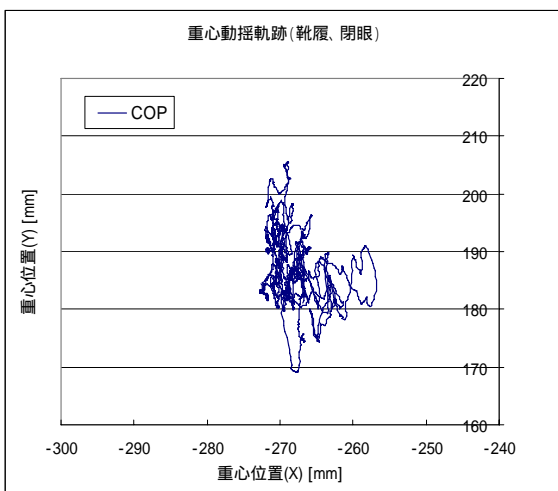


図4 重心動揺軌跡

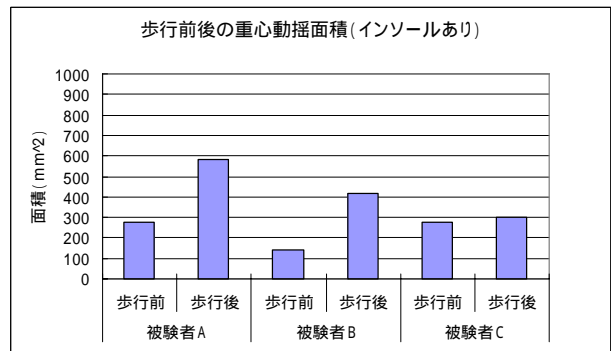
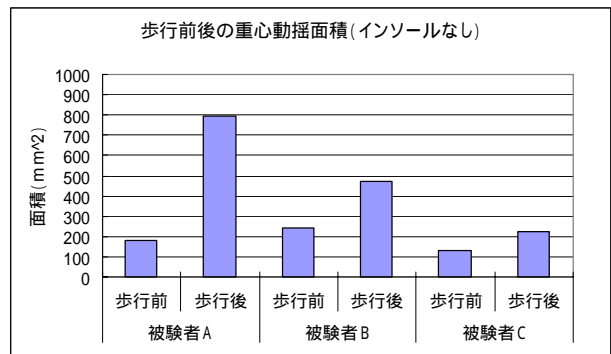


図5 重心動揺面積計測結果

被験者3名中2名において、インソールありの場合の面積増加が、インソールなしに比べて小さくなっている。これは、インソールありの靴の方が、姿勢調節筋の疲労が小さかったためであると考えられ、インソールが疲労軽減に効果があったことを示す結果となっている。

### 3.3 足底接地面積

歩行前後の足底圧分布を図6に示す。これは静止立位姿勢で60秒間計測した足底圧を累積したものであるが、歩行終了後の方が足底圧累積値の高い領域が若干広がっているのが分かる。

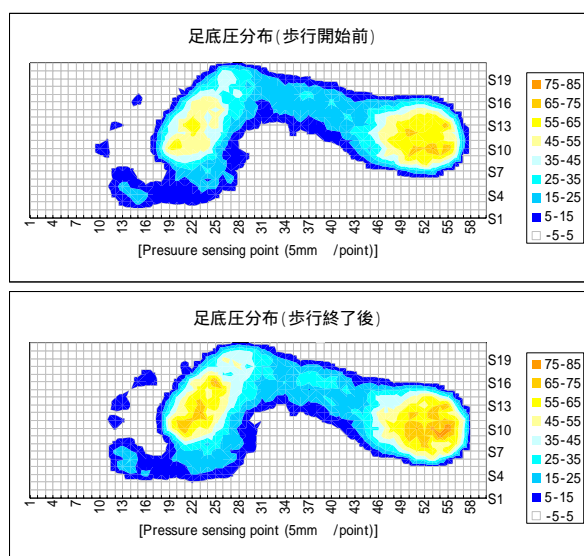


図6 歩行前後の足底圧分布

被験者3名における足底接地面積(両足)の計測結果を表1に示す。被験者3名中2名において、インソールありの場合の面積増加がインソールなしに比べて小さくなっており、インソールが足部のアーチつぶれ防止に効果があることを示す結果となっている。

表1 足底接地面積計測結果

		歩行前 (cm <sup>2</sup> )	歩行後 (cm <sup>2</sup> )	増減 (%)
被験者A	insoleなし	220	224.25	1.93
	insoleあり	212.5	214.5	0.94
被験者B	insoleなし	273.5	271.5	-0.73
	insoleあり	264.25	262.75	-0.57
被験者C	insoleなし	268.5	292	8.75
	insoleあり	252	262.75	4.27

## 4. 結言

計測負荷の小さい歩行疲労評価法を検討し、歩行中

の腰部加速度(鉛直方向)、歩行前後の重心動揺軌跡面積および足底接地面積について計測を行い、疲労の評価に有効であることを示す結果を得た。

とくに腰部加速度は、歩行中にリアルタイムで計測でき、その疲労判定アルゴリズムも比較的単純であるため機器に組み込んで実用化可能であると思われる。

また本研究で検討した手法は、靴以外の器具の人間工学的評価にも応用が可能である。具体的には、学校用椅子や車椅子の評価において、座面にかかる圧力の分布計測データから、荷重重心の移動軌跡や接触面積等を計算し、座り心地を比較するなどの技術支援に活用している。

## 5. 謝辞

本研究の歩行実験において多大なる協力をいただきました。東北大学大学院医学系研究科齋藤輝樹氏および弘進ゴム(株)品質保証部の春日憲一氏、伊藤貴之氏、石沢智氏に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 木塚朝博, 木竜徹, 増田正, 佐渡山亜兵:筋電図, 電機大出版局(2006), p.59
- 2) 渡辺高志, 三浦尚人, 星宮望, 半田康延: 医用電子と生体工学, 38-1(2000), p.42

## 糖尿病予防成分素材の探索と食品化

庄子真樹<sup>\*</sup>・有田富和<sup>\*\*</sup>・毛利哲<sup>\*</sup>・矢口仁<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>食品バイオ技術部 <sup>\*\*</sup>保健環境センター微生物部

我が国の糖尿病患者数が増加していることから、糖尿病予防の食品開発を目的とし“アミノリン脂質の糖化反応(グリケーション)”に着目し食品素材の探索を行った。試験管試験の結果、米ぬか・スプラウトなどにグリケーション阻害能があることを見出した。また、高感度質量分析装置(LC-MS/MS)を用いた糖化リン脂質の高感度検出・定量法を開発し、一部の医薬化合物がヒトLDL中リン脂質のグリケーションを阻害することを明らかにした。これらから、動物試験によるグリケーション阻害物質の効果実証に期待が持たれた。

キーワード: 糖尿病、グリケーション、リン脂質、LC-MS/MS

### 1. 緒言

近年、日本における糖尿病疾患が増加しており糖尿病が強く疑われる人が約820万人、糖尿病の可能性を否定できない人まで含めると糖尿病予備軍は約1,870万人存在すると推定されている<sup>1)</sup>。また、糖尿病合併症(糖尿病神経障害、糖尿病網膜症、糖尿病腎症)により、症状はさらに悪化する。

高血糖下では、タンパク質など生体を構成する成分と糖が結合する糖化反応(グリケーション)が進展し、高血糖指標であるヘモグロビン糖化産物(HbA1c)などのグリケーション産物が生成される。グリケーションの初期段階では、タンパク質のアミノ基と糖のカルボニル基が脱水縮合し、不安定なシッフ塩基構造を経た後に安定なアマドリ化合物となる。さらに反応が進行すると、アマドリ化合物は様々な構造の糖化最終生成物(Advanced Glycation End products; AGEs)になる。グリケーションは、活性酸素生成による生体過酸化誘発の一つの原因として考えられ<sup>2)</sup>、糖尿病合併症や細胞老化との関係が注目されている。

また、リン脂質は生体膜の重要な構成成分であり、リン脂質の中でホスファチジルエタノールアミン(PE、図. 1)は分子内に第一級アミノ基を有する。東北大学大学院農学研究科宮澤教授ではPEがタンパク質と同様にグリケーションを受け、アマドリ型糖化リン脂質(Amadori-PE)となることを報告しており<sup>3)-4)</sup>(図.1)、Amadori-PEが鉄イオンと共存して活性酸素(O<sub>2</sub><sup>·</sup>)を生じ、膜脂質の過酸化を誘発すること<sup>4)</sup>、糖尿病性網膜症の原因とされる血管新生がAmadori-PEによって引き起こされること<sup>5)</sup>、高血糖患者血漿にはAmadori-PEが異常蓄積していること<sup>6)</sup>を示した。これらの研究から、高血糖により細胞器官の膜リン脂質がグリケーションを受けAmadori-PEに変換されると、これが原因で膜脂質過酸化や細胞機能障害が

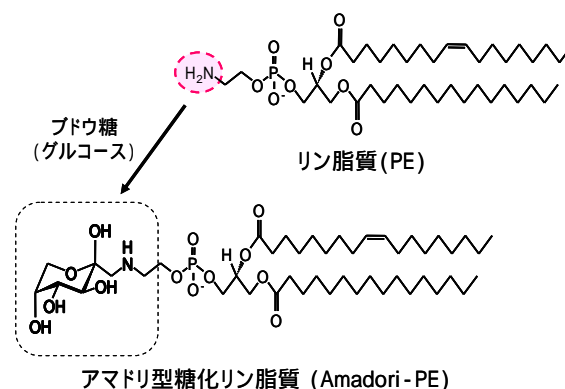


図.1 脂質のグリケーション

起こり、糖尿病などの疾病の増悪化に関わるという新しい生体内反応が明らかになりつつあり、膜リン脂質のグリケーションを阻害する物質が探索され、今までビタミンB<sub>6</sub>が脂質グリケーション阻害化合物であることが知られている<sup>7)</sup>。

当センターでは以前より食品機能性として抗酸化性に着目し、東北地域にあるさまざまな農産物、畜産物、水産物より食品機能成分を探索し、新たな機能性食品の開発を行ってきた<sup>8)</sup>。抗酸化成分は健康機能性の観点より注目されているものの、評価方法の種類が多く、効能の範囲が複雑で多岐に渡っていることから、生体内生理活性の信頼性(エビデンス)が十分でないことが機能性食品の開発の課題であった。

そこで、本研究では脂質グリケーションの技術シーズを活用し、糖尿病を予防する新たな食品開発へ展開することを目的とし、地域食品素材から脂質のグリケーションを阻害する成分の探索を図り、エビデンスを獲得しつつ阻害成分を活用した糖尿病予防食品の商品開発支援を展開する。



## 2. 実験方法

### 2.1 脂質グリケーション阻害活性を有する地域食品素材抽出物の探索

食品市販品を凍結乾燥後、粉碎機で粉末とし、100倍量の80%エタノールで抽出し、抽出物を得た。抽出物100  $\mu$  Lに3mM ジオレオイル型 PE(Avanti社、MW744.04)100  $\mu$  Lと2.5Mグルコース200  $\mu$  Lを加え、合計1mL(メタノール:100mMリン酸緩衝液pH7.4=7:3)となるように溶液を調製した。食品抽出物を加えないものを対照区とした。37  $^{\circ}$ C 2時間反応させ、Folch法により脂質抽出を行い、抽出物を乾固し、メタノールで1mLに定容しHPLCに供した。

HPLC測定条件は、移動相はメタノール/500mM酢酸アンモニウム = 99:1、流速は1mL/minとした。カラムは逆相カラム(TOSOH社、ODS-80Ts 4.6  $\times$  150mm)を用い、検出は光蒸散乱検出器(ELSD)を用いた。

グリケーション阻害活性は糖化リン脂質の生成比で求めた。すなわち、PEを37  $^{\circ}$ C 2hrでグリケーションさせると、Amadori-PEの前駆物質であるシッフ型の糖化リン脂質(Schiff-PE)が生成される。食品抽出物を加えグリケーションさせた際のSchiff-PEの検出ピーク面積を、食品抽出物を添加しない際のSchiff-PE検出ピーク面積で除した値をグリケーション阻害活性とし、値が小さいものほどグリケーション阻害活性が高いとした。

### 2.2 脂質グリケーション阻害活性を有する地域食品素材抽出物の成分特定

グリケーション阻害活性の高い食品抽出物を選択し、エタノール濃度を変えて抽出し、グリケーション阻害活性を求めた。

抽出物の活性安定性を調べるため、食品抽出物液200  $\mu$  Lに0.5Mグリシン - 塩酸緩衝液(pH 3.0)、クエン酸 - 塩酸緩衝液(pH 5.0)、グリシン - 水酸化ナトリウム緩衝液(pH 10.0)のいずれかを4  $\mu$  L加え、室温で1hr静置後、グリケーション阻害活性を調べた。食品抽出物液200  $\mu$  Lに酸素を吹き付けて乾固させ、その後さらに1hr酸素を吹きつけたものをエタノール200  $\mu$  Lに溶解してグリケーション阻害活性を調べた。食品抽出物液200  $\mu$  Lを高圧蒸気滅菌器で加熱(121  $^{\circ}$ C, 10min)、もしくはヒートブロックで加熱(80  $^{\circ}$ C, 10min)後自然冷却し、グリケーション阻害活性を調べた。

このため、グリケーション阻害活性の高い食品抽出物をカラム分離し、画分を得た。移動相をメタノール/水=5:95 99:1(5分後)としてグラジエント分析した。分析開始5分後よりフラクションコレクターで1.5分間隔で10画分を回収した。回収した画分を乾固しメタノールで再溶解しHPLC-ELSDでグリケーション阻害活性を測定した。

グリケーション阻害活性の高い画分を質量分析計(LC-MS)により質量を測定した。測定質量より活性成分を推定した。

### 2.3 脂質グリケーション阻害活性を有する医薬化合物の探索

医薬化合物ライブラリー(SIGMA社、DMSO抽出物1280種)を用いた。10mMのDMSO抽出物10  $\mu$  L、3mMPE100  $\mu$  L、2.5Mグルコース200  $\mu$  Lを加え合計1mL(メタノール:100mMリン酸緩衝液pH7.4=7:3)とした。2.1と同様にHPLC-ELSDでグリケーション阻害活性を測定した。

### 2.4 生体試料を用いた生体グリケーションモデルの構築

健常者から採血した血液を遠心分離し、得られた血漿にヨウ素カリウムを加え比重1.24にした後、超遠心分離機(65,000rpm、4hr)で血漿中LDLを比重分離した。限外ろ過膜(分子量30,000)によりLDL溶液を膜分離し、PBSを加えLDL溶液とした。ローリー法によりタンパク質量しLDL濃度を求めた。

LDL(0.5mg/mL  $\cdot$  protein)へグルコース(最終濃度500mM)を加え、37  $^{\circ}$ Cで0~7日間グリケーションさせた。グリケーション後、LDL溶液をFolch法により脂質抽出し、メタノールに再溶解させLC-MS/MS(Applied Biosystems社、4000QTRAP)でAmadori-PEを定量した。

LC-MS/MS分析は移動相A(メタノール/アセトニトリル/500mMギ酸アンモニウム = 78:20:2)と移動相B(メタノール/アセトニトリル/500mMギ酸アンモニウムpH6.8 = 49:49:2)によるグラジエントで順相カラム(GL science SILICA100A 2.0  $\times$  100mm)を使用し、逆-逆相モードによる分析を行った。エレクトロスプレーイオン化法(ESI法)によりイオン化し、四重極型質量分析計で質量分析した。あらかじめAmadori-PEの標準品により分析条件を最適化し、親イオンと娘イオンの組合せで高感度検出が可能なるマルチプルリアクションモニタリング(MRM)でAmadori-PEを定量した。

### 2.5 生体グリケーションモデルによる脂質グリケーション阻害成分の効果試験

グリケーション阻害活性の高かった医薬化合物1種を最終濃度100  $\mu$  MとなるようLDL溶液(1mg/mL  $\cdot$  protein)へ加え、グルコース(最終濃度100mM)添加後0~14日間グリケーションさせた。LDL溶液をFolch法により脂質抽出し、LC-MS/MSでAmadori-PEを定量した。

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 脂質グリケーション阻害活性を有する地域食品素材抽出物の探索

約100種類の食品抽出物についてグリケーション阻害活性を測定した。その結果を表.1に記す。穀類(黒米、

食品抽出物による糖化リン脂質生成率					
糖化リン脂質生成率 = 試料添加糖化リン脂質量 ÷ 試料無添加糖化リン脂質量 (対照)					
レモン	2.3%	ひじき	35.8%	梨	90.5%
赤唐辛子	9.6%	チョコ	37.9%	玉ねぎ	90.8%
レモン皮	10.6%	小豆	38.7%	アボガド皮	91.0%
りんご皮	10.8%	キウイ	50.3%	抹茶入り緑茶	92.4%
アボガド	11.0%	スプラウト	56.7%	バジル	93.8%
発芽玄米	11.3%	ブロッコリー	61.3%	トマト	98.1%
玉ねぎ皮	12.2%	月桂樹(ローレル)	65.4%	アーモンド	101.8%
バナナ皮	13.4%	ターシリン	66.2%	大根葉	104.1%
クコの葉	13.6%	バセリ	66.9%	サツマイモ皮	104.1%
りんご	14.3%	バナナ	72.5%	セロリ	104.6%
黒大豆	14.4%	アスパラガス	73.1%	つるむらさき	104.7%
キウイ皮	15.3%	ブロッコリー	74.0%	国産小粒納豆	104.8%
黒米	16.6%	カカオ豆	77.2%	なす	104.9%
黒こしょう	18.7%	コーン	77.2%	にんにく	109.2%
シナモン	19.1%	むぎ茶六条大麦	78.4%	サツマイモ	109.3%
わかめ	20.2%	白こしょう	79.6%	大根葉	109.6%
桃生茶	20.7%	ピーナッツ	79.7%	きゅうり	111.1%
かいわれ	20.7%	ピーマン	80.3%	青唐辛子	112.7%
白ゴマ	21.3%	国産大豆大粒納豆	80.5%	かたくちいわし	113.7%
ピーナッツ皮	22.2%	凍り豆腐	80.7%	こうじ	120.0%
ひたし豆(大豆)	23.7%	大豆	82.1%	ハックルベリー	121.7%
カシューナッツ	24.2%	グレープフルーツ	82.2%	黒豆納豆	129.3%
生くるみ	25.3%	黒ゴマ	82.5%	しょうが	130.0%
茎わかめ	27.4%	香茶	83.3%	大葉	138.8%
木くらげ	27.8%	コーヒー	86.3%	卵白	140.1%
干しえび	29.1%	赤ピーマン	87.5%	柿皮	155.7%
細切り昆布	29.7%	青ししとう	89.9%	紫玉ねぎ	175.8%
花みょうが	30.1%	薬の葉	90.1%	うずら卵	194.9%
グレープフルーツ皮	30.1%	テンペ	90.2%	卵黄	332.3%
発酵米ぬか	33.0%	干しりのり	90.4%		

表.1 食品抽出物によるグリケーション阻害活性

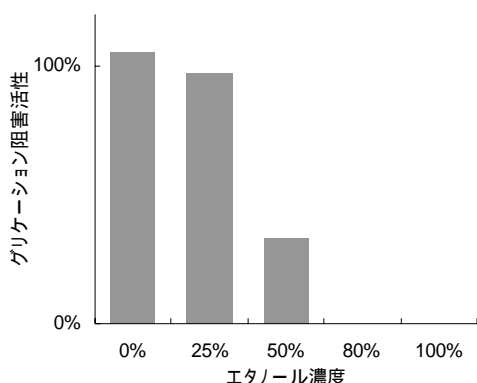


図.2 米ぬか抽出物のグリケーション阻害

発芽玄米、米ぬか)、豆類(大豆、黒大豆、小豆)、野菜類(かいわれ、スプラウト)、海藻類(わかめ、ひじき、こんぶ)、果実類(りんご、アボガド、バナナ、可食部および皮部)、種実類(ピーナッツ)、調味料類(とうがらし、こしょう、シナモン)に比較的高い活性が見られた。このうち、本県の主農産物の副産物である米ぬかをグリケーション阻害活性の高い候補食品とし、成分特定の素材とした。

### 3.2 脂質グリケーション阻害活性を有する地域食品素材抽出物の成分特定

米ぬか粉末をエタノールで抽出しグリケーション阻害活性を測定したところ、高濃度エタノール抽出で高い活性を示した(図.2)。このことから今後米ぬかエタノール抽

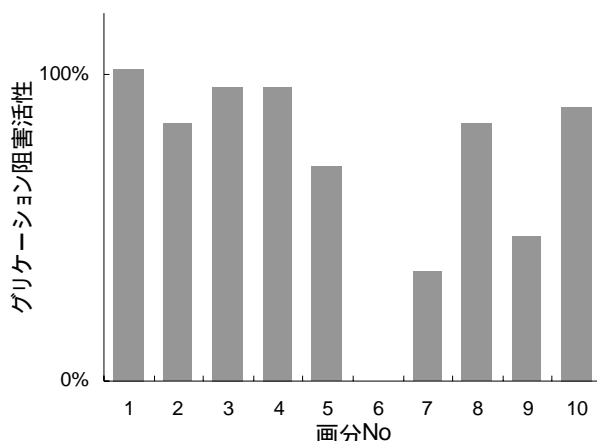


図.3 米ぬか抽出物画分のグリケーション阻害

出物をグリケーション阻害食品抽出物として試験した。

米ぬかエタノール抽出物の活性安定性(空気酸化、pH、熱)を見たところ、どの環境下でも活性は低下しなかった。このことから、活性成分はタンパク質のように熱やpHで変性せず、酸化反応に安定的な化合物であることが推測された。

カラム分離により得られた画分のグリケーション阻害活性を測定した結果、一部画分に高い活性が見られた(図.3)。逆相カラムで保持されることから脂溶性成分であることが分かった。

グリケーション阻害活性の高い画分をLC-MSで質量測定した結果、大気圧化学イオン化法(APCI法)ネガティブイオンモードにおいて明瞭なイオンピークが観察された(図.4)。LC-MSの結果より分子量検索したところ、活性成分は遊離脂肪酸(パルミチン酸、オレイン酸、リノール酸)であると推定した。本結果を確認するため、遊離脂肪酸標準品でグリケーション阻害活性試験を行ったところ、米ぬか抽出物画分と同様に高い活性が見られ、すなわち遊離脂肪酸はグリケーション阻害成分であることが分かった。

### 3.3 脂質グリケーション阻害活性を有する医薬化合物の探索

医薬化合物1280種のグリケーション阻害活性を測定した結果、約30種に高い活性が示された。DMSO溶液であったことと化合物あたりの反復試験数が少ないことが

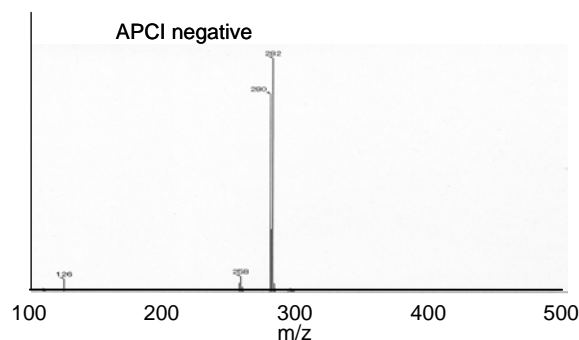


図.4 グリケーション阻害画分の質量分析

ら、再現性を見るため、活性の高かった30種についてメタノール溶液を調製し、再現性試験を行った。再現性試験の結果、最も活性の高い化合物1種を得た。得られた化合物はテトラサイクリン系抗生物質の“Doxycycline(DOXY)”であり、血糖降下薬増強作用、タンパク質グリケーション阻害作用<sup>9)</sup>を有すると報告される化合物であった。今後、DOXYをグリケーション阻害化合物として試験に供した。

### 3.4 生体試料を用いた生体グリケーションモデルの構築

LC-MS/MSのニュートラルロスモードでLDL中のAmadori-PEを一斉検出した結果、主な分子種として8種類存在することを確認した(図.5)。Amadori-PEが検出できたことで、次にLDLをグリケーションさせ、ステアリン酸を側鎖にもつ4分子種Amadori-PEのMRM分析を行った。その結果、LDLのグリケーションにより時間経過にしたがってAmadori-PE量は増加した(図.6)。Amadori-PE量の増加はどの分子種においても見られ、特にドコサヘキサエン酸を側鎖にもつ分子種(18:0-22:6)でグリケーションが進行した。

### 3.5 生体グリケーションモデルによる脂質グリケーション阻害成分の効果試験

3.3で得られたDOXYを用いて、LDLでのグリケーション阻害活性を調べた結果、対照区では時間経過とともにAmadori-PE量が増加したが、DOXY添加区では、14日間のグリケーションでAmadori-PEは増加しなかった(図.7)。このことから、DOXYが生体においても効果を示すことが期待され、今後は動物試験により効果を実証する。

## 4. 結言

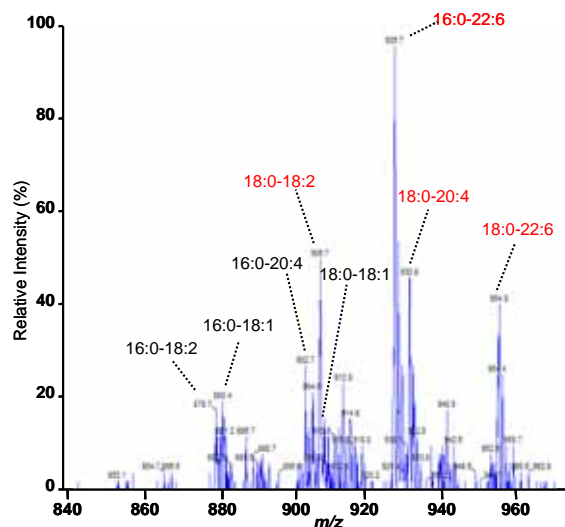


図.5 LDL中Amadori-PEの一斉検出

本研究により、食品成分や医薬化合物の探索によって、アミノリン脂質のグリケーション反応を阻害する成分

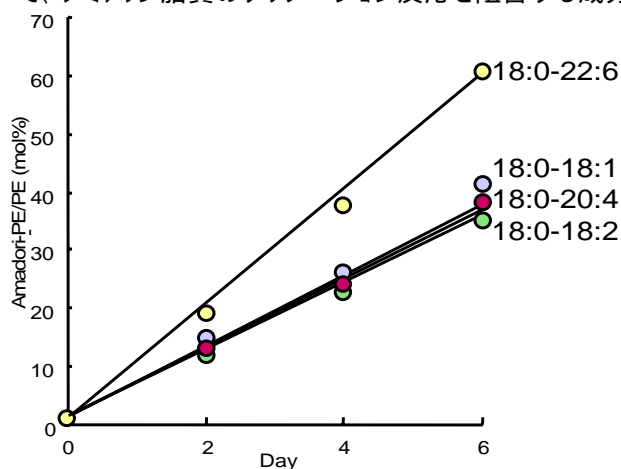


図.6 ヒトLDLリン脂質のグリケーション

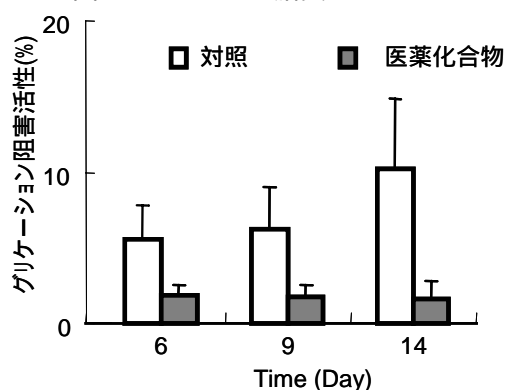


図.7 医薬化合物によるLDLグリケーション阻害が見出され、糖尿病を予防する新規機能性食品を開発するための素材が得られた。

### 参考文献

- 1) 平成18年度厚生省糖尿病実態調査報告
- 2) G. Suji, S. Sivakami: *Biogerontology*, **5**, 365 (2004)
- 3) S. Lertsiri, M. Shiraishi, T. Miyazawa: *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, **62**, 893 (1998)
- 4) J. H. Oak, K. Nakagawa, T. Miyazawa: *FEBS Lett.*, **481**, 26 (2000)
- 5) J. H. Oak, K. Nakagawa, S. Oikawa, T. Miyazawa: *FEBS Lett.*, **555**, 419 (2003)
- 6) K. Nakagawa, J. H. Oak, O. Higuchi, T. Tsuzuki, S. Oikawa, H. Otani, M. Mune, H. Cai, T. Miyazawa: *J. Lipid Res.*, **46**, 2514 (2005)
- 7) O. Higuchi, K. Nakagawa, T. Tsuzuki, T. Suzuki, S. Oikawa, T. Miyazawa: *J. Lipid Res.*, **47**, 964 (2006)
- 8) 平成14～16年度宮城県新産業振興課執行委任「XYZ理論に基づく食品機能性評価」
- 9) ME. Ryan, NS. Ramamurthy, LM. Golub: *Adv Dent Res.*, **12**, 152(1998)

---

平成19年度

宮城県産業技術総合センター研究報告 No.5(2007)

平成20年7月発行

発行所

宮城県産業技術総合センター

〒981-3206

宮城県仙台市泉区明通2丁目2番地

TEL 022-(377)-8700

FAX 022-(377)-8712

---