

平成20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.6(2008)

目 次

1. SiCの超精密研削加工技術の開発	1
2. 光学検出手法を用いたセンサデバイスに関する調査・研究	7
3. ディジタル画像処理の先端システム設計に関する研究	10
4. 中山間地を対象とした次世代ヘルスケアシステムを基盤とする 地域振興に関する研究	18
5. 缶かまぼこ汚染菌叢の解析と乳酸菌による保存性向上の可能性	22

SiCの超精密研削加工技術の開発

久田哲弥・和嶋直・家口心・齋藤佳史
材料開発・分析技術部

現在、電力変換に用いられるパワーデバイスの多くはSi材料から製造されており、Siデバイスを高性能化するための技術開発が続けられている。一方で、Siの材料特性に起因する性能限界も徐々に明らかとなつており、物理的・電気的特性に優れたSiC材料が次世代パワーデバイス材料のひとつとして注目されている。しかしながら、硬脆材料であるSiCは高能率な高精度加工が難しく、所望の加工精度を得るまでに高い加工コストを要するなど、その実用化には解決すべき課題が多い。

本研究では、これまで我々が開発してきた高い形状精度と良好な表面粗さを同時に得ることができる超精密鏡面研削加工技術を単結晶SiCウエハに適用することで、高能率かつ高精度な超精密加工技術の開発を試みた。また、次世代半導体製造装置用構造部材やガラスレンズ用金型材として注目を集めるSiC粉末焼結体を中心に、これまで開発を進めてきた各種材料の超精密鏡面研削加工技術の実用化に向けた取り組みを行った。

キーワード：炭化ケイ素(SiC)、硬脆材料、難加工材料、鏡面研削加工、超精密加工、研削抵抗、
有気孔レジノイドボンドダイヤモンド砥石、ビトリファイドボンドダイヤモンド砥石

1. 緒言

超精密鏡面研削加工技術は、高い形状精度と良好な表面粗さを同時に得ることができる優れた加工技術である。このため、本技術は製品の高機能化や高付加価値化に対応するための必要不可欠な技術として各種製造メーカーの高い注目を集めている。当センターでは、平成18年度までに高硬度鋼材および超硬合金を中心に平面および自由曲面形状の超精密鏡面研削加工技術の開発を行い、特にトーリック凹面形状を有する超硬合金製のfθガラスレンズ用金型の加工において形状精度0.2 μ mPt以下、表面粗さ10nmRz以下の加工精度を達成している^{1)～4)}。

また、硬脆材料のような難加工材料をターゲットとした超精密加工のニーズも増加傾向にあり、平成17～18年には地域新生コンソーシアム研究開発事業において、次世代半導体製造装置用構造部材やガラスレンズ用金型材として注目を集める高機能SiC粉末焼結体の超精密鏡面研削加工技術を開発し、φ130mmの平面サンプルにおいて平面度2 μ mPV、表面粗さ20nmRz、φ100mmの軸対称曲面サンプルにおいて形状精度0.4 μ mPV、表面粗さ10nmRzの加工精度を達成している⁵⁾。

一方最近では、次世代パワーデバイスとして注目を集める単結晶SiC材料において加工コストを大幅に低減するための高能率な超精密加工技術が求められている。

本研究では、我々がこれまで開発した超精密鏡面研削加工技術を単結晶SiCウエハへ適用することで、高能率かつ高精度な加工技術の開発を行った。また、SiC粉末焼結体を中心に、これまで開発を進めてきた各種材料の超精密鏡面研削加工技術の実用化に向けた取り組みを行った。

2. 単結晶SiCウエハの超精密鏡面研削加工技術の開発

従来の単結晶SiCウエハの前加工は単結晶Siウエハの場合とほぼ同様の加工工程で行われている。その加工工程は、比較的粗い砥粒径である#200～1000程度のダイヤモンド砥石による研削加工後、徐々に細粒のダイヤモンド砥粒へと変化させながら2～3回の研磨加工により表面を磨き、最後に化学研磨加工(CMP加工)により加工変質層の除去などの処理を行うものである。しかしながら、単結晶SiCウエハのような硬脆材料の場合には、ダイヤモンド砥粒による研磨加工の能率が低く所望の加工精度を得るために膨大な時間を要することから、加工コストが大幅に増大する点が課題となっている⁶⁾。

このため、加工コストを低減するべく、ダイヤモンド砥粒による研磨加工工程に代わる加工技術として超精密鏡面研削加工技術が注目を集めている^{6), 7)}。その研削加工技術において要求される加工精度は研磨加工後と

同等程度である平面度 $1\mu\text{m}$ PV、表面粗さ 10nmRz の加工面性状であり、本研究開発の平成20年度までの達成目標とした。

2.1 本研究の開発内容

表1に主な実験条件を、図1に研削加工システムの構成を示す。本システムは超精密CNC成形平面研削盤、NC制御装置、NCプログラムジェネレータから構成される。研削砥石には高い形状精度が得られるビトリファイドボンドダイヤモンド砥石と良好な表面粗さが得られる有気孔レジノイドボンドダイヤモンド砥石を使用した。また、研削砥石の高精度・高能率ツルーリング・ドレッシング方法にはこれまでに開発した方法を採用し、ビトリファイドボンドダイヤモンド砥石の場合にはGCブロック法を、有気孔レジノイドボンドダイヤモンド砥石の場合にはSUS304ブロック法を使用した⁵⁾。

被加工面における平面度の評価には非接触平面測定機(Veeco社製:WYKO RTI4100)と非接触三次元測定機(三鷹光器社製:NH-3SP)を、表面粗さの評価には接触式表面粗さ・形状測定機(AMETEK社製:フォームタリサーフS5型)と非接触表面性状測定機(AMETEK社製:タリサーフCCI6000)を使用した。

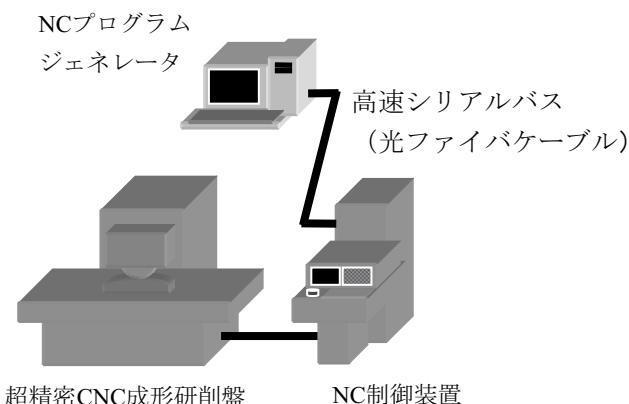


図1 研削加工システムの構成

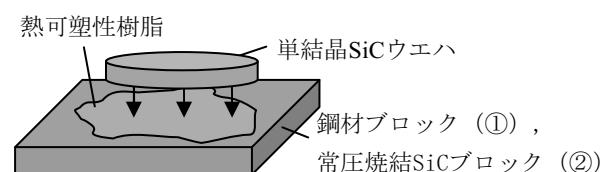
2.2 本研究の成果

本研究で行った具体的な開発内容とその成果を以下に示す。

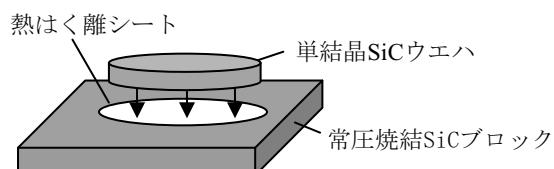
2.2.1 被削材の保持方法の検討

加工した単結晶SiCウェハは厚さ $300\mu\text{m}$ と薄く、加工時の保持方法が平面度に大きな影響を与えることが推測される。このため、図2に示すような以下の4つの保持方法を用いて加工した場合の平面度に及ぼす影響について検証した。本実験における加工条件を表2に示す。

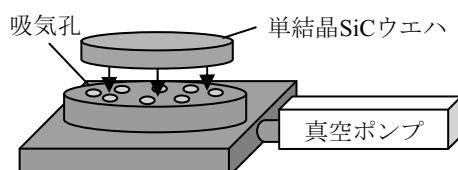
- ①熱可塑性樹脂により鋼材ブロックへ接着固定
- ②熱可塑性樹脂により常圧焼結SiCブロックへ接着固定
- ③熱はく離シートにより常圧焼結SiCブロックへ接着固定
- ④真空チャックによる吸着固定



(a) 热可塑性树脂による接着固定(保持方法①および②)



(b) 热はく離シートによる接着固定(保持方法③)



(c) 真空チャックによる吸着固定(保持方法④)

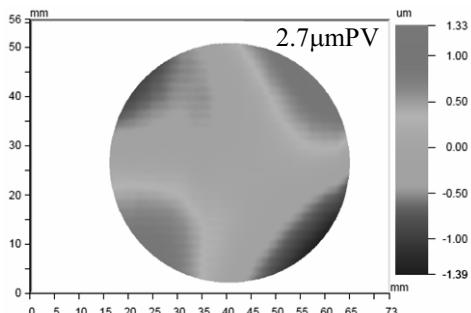
図2 SiCウェハの保持方法について

表1 主な実験条件

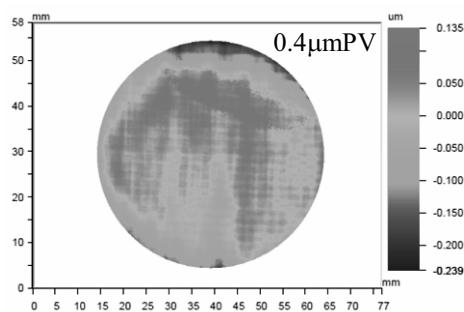
被削材	4H-SiC ウエハ、2inch, (0001)面(新日本製鐵(株)製)
加工機	超精密 CNC 成形平面研削盤 SGU52SXSN4(ナガセインテグレックス(株)製) ・3軸油静压案内、ボールねじ駆動、油静压スピンドル軸受 ・スケールフィードバック・フルクローズド制御 ・位置決め分解能:X(左右): $0.1\mu\text{m}$, Y(上下): $0.01\mu\text{m}$, Z(前後): $0.01\mu\text{m}$
NC制御装置	ファンック(株)製 15i 同時3軸制御
研削砥石	ビトリファイドボンドダイヤモンド砥石((株)ニートレックス製) 有気孔レジノイドボンドダイヤモンド砥石((株)東京ダイヤモンド工具製作所製)
ドレス方法	GCブロック(ビトリファイドボンドダイヤモンド砥石用) SUS304ブロック(レジノイドボンドダイヤモンド砥石用)
研削方法	トラバース研削
研削液	ケミカルソリューションタイプ

表2 保持方法の検討における実験条件

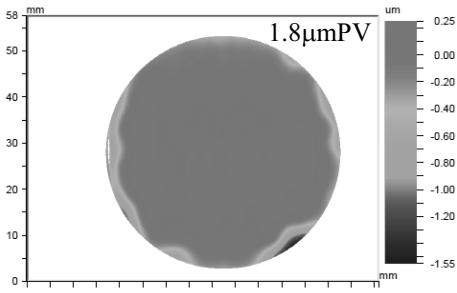
研削砥石	SD2000V (直径 200mm-幅 8mm)
砥石周速度	800m/min
テーブル スピード	8m/min
切込深さ	0.5 μm (面加工当り)
ドレス方法	GC600 ブロック



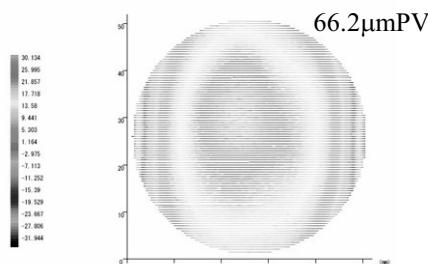
(a) 保持方法①の場合



(b) 保持方法②の場合



(c) 保持方法③の場合



(d) 保持方法④の場合

**図3 各保持方法における被加工面の平面度
(SD2000V 使用)**

図3に、各保持方法において超微粒ビトリファイドボンドダイヤモンド砥石SD2000Vを使用して加工した場合の平面度の測定結果を示す。この結果から、特に保持方法②の場合に良好な平面度が得られることがわかった。また、脱着が容易でクリーンな方法として注目されている保持方法③および保持方法④に着目すると、保持方法③では熱はく離シートの弾性変形の影響によりウエハのエッジ部においてダレが生じ易い傾向があり、保持方法④では吸着力の強さおよび作用点の最適化を行わなければ加工後に大きな反りが生じるなど、各々の保持方法での課題が明らかとなつた。

2.2.2 研削加工条件の選定

超微粒ダイヤモンド砥石を用いた様々な研削加工条件における研削抵抗および研削加工面性状を調査することで、高能率かつ高精度な超精密研削加工技術の開発を試みた。

(1) 研削抵抗の測定による研削加工条件の選定

被削材に作用する研削抵抗を測定し研削加工条件の選定を行った。特に、中仕上げ加工用砥石および仕上げ加工用砥石として有効と考えられるビトリファイドダイヤモンド砥石SD2000V((株)ニートレックス製)および有気孔レジノイドボンドダイヤモンド砥石SD5000B((株)東京ダイヤモンド工具製作所製)の2種類について検討した。表3に本実験に用いた研削加工条件を、図4に研削抵抗測定時における加工部の様子を示す。研削抵抗の測定には水晶圧電型3成分動力計を使用した。被削材の保持には保持方法②(常圧焼結SiCブロックに熱可塑性樹脂を用いて接着固定)を使用した。研削砥石の当て込みにおいては、接触の検出に動力計を用いることで同一条件となるようにした。

表3 研削抵抗の測定における実験条件

研削砥石	SD2000V, SD5000B (直径 200mm-幅 8mm)
砥石周速度	600, 800, 1000, 1300m/min
テーブル スピード	8m/min
切込深さ	0.5 μm (面加工当り)
ドレス方法	GC600 ブロック (SD2000V) SUS304 ブロック (SD5000B)
保持方法	熱可塑性樹脂(常圧焼結 SiC)
動力計	Multicomponent Dynamometer, 9257B(KISTLER)

図5にSD2000Vで中仕上げ加工実験(切込量 $0.5 \mu\text{m}$ の平面研削加工:20回、スパークアウト:4回)を行った場合の各砥石周速度における研削抵抗と研削回数の関係を示す。法線研削抵抗は砥石周速度の増加に伴い増加する傾向が見られたが、接線研削抵抗は砥石周速度600m/minの場合で大きく、それ以外の砥石周速度では同程度の値となった。また、全砥石周速度において研削回数を増加させても研削抵抗はほぼ一定状態であり、スパークアウト時には実験開始時と同程度まで減少した。この結果から、SD2000Vは削残しが少なく、高能率加工に有効な砥石である可能性を見出した。更に、研削抵抗がほぼ一定となった状態における研削抵抗比 F_t/F_n ⁸⁾の平均値を算出した結果、600m/min:0.24、800m/min:0.14、1000m/min:0.09、1300m/min:0.06となり、砥石周速度がより低速の場合に良好な研削加工状態となることがわかった。

図6にSD5000Bで仕上げ加工実験(切込量 $0.5 \mu\text{m}$ の平面研削加工:4回、スパークアウト:4回)を行った場合の各砥石周速度における研削抵抗と研削回数の関係を示す。砥石周速度1000m/min以下の場合には、法線研削抵抗および接線研削抵抗は研削回数の増加とともに増加し、スパークアウト開始直後にはほぼ一定状態となった後、徐々に減少する傾向が見られた。一方、砥石周速度1300m/minの場合には研削回数を増加させても研削抵抗はほとんど増加しなかった。この結果から、超微粒レジノイドボンド砥石の場合には砥石周速度を低速化することで砥粒切れ刃の被削材への作用を増大させることができると考えられる。また、スパークアウトにおける研削抵抗比 F_t/F_n を比較すると、特に砥石周速度600~800m/minの場合に良好な研削加工状態となることがわかった。以上の結果を考慮し、砥石周速度を600m/minとして研削加工を行い、スパークアウトを繰り返すことで鏡面を得ることができた。

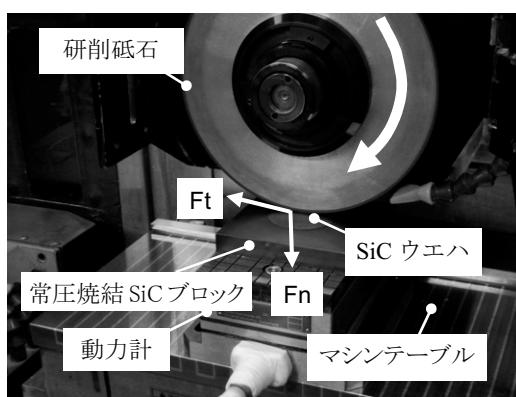


図4 研削抵抗測定時における加工部の様子

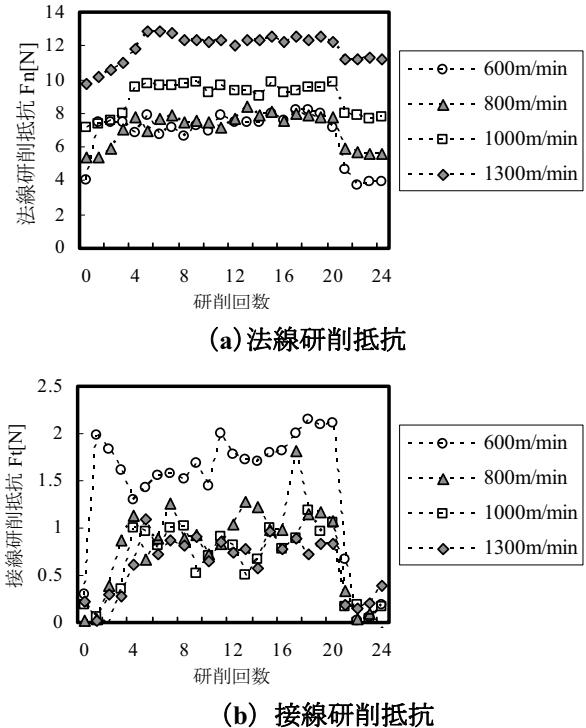


図5 SD2000V の場合の研削抵抗と砥石周速度の関係

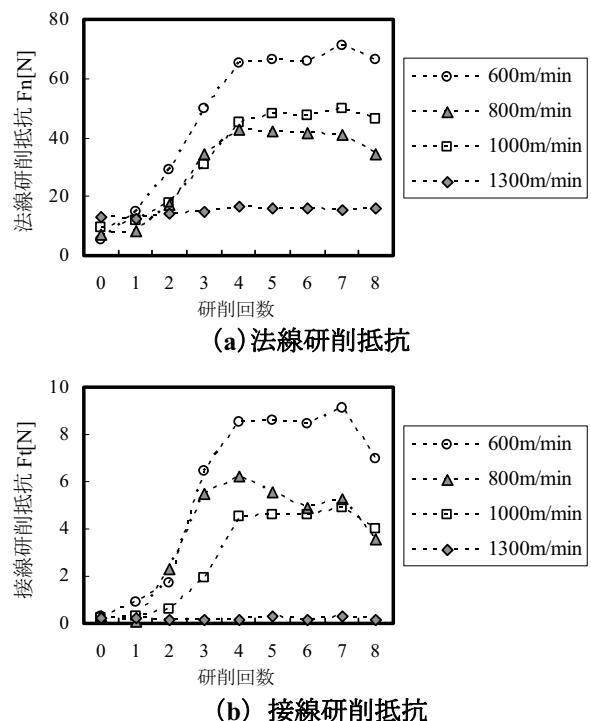


図6 SD5000B の場合の研削抵抗と砥石周速度の関係

(2) 砥石条件と表面粗さの関係

各研削砥石を使用した場合における被加工面の表面粗さを比較し、目標の加工精度に至るまでの最適な研削加工工程の検討を行った。**表4**に本実験に用いた主な研削加工条件を示す。各実験前の前加工面は、SD200B、SD1000B、SD2000V、SD2000Bの場合にはSD200Bで、SD5000B、SD5000V、8000Vの場合にはSD2000Vで、SD12000Bの場合にはSD5000Bで加工した。

表5に各研削砥石を使用した場合における加工面粗さと研削抵抗を示す。表には各々の場合の研削回数を増加させた場合の研削抵抗の状況も記載した。また、実験条件である切込深さおよび総切込量はこれまでの実験から得られた各砥石の研削性能から選定した。表面粗さ結果から研削砥石の砥粒径が細粒になるほど表面粗さが向上し、またビトリファイドダイヤモンド砥石よりも有気孔レジノイドボンドダイヤモンド砥石の場合に表面粗さが良好となる傾向が得られた。また、研削抵抗値を比較した場合には有気孔レジノイドボンドダイヤモンド砥石よりもビトリファイドダイヤモンド砥石の場合に研削抵抗が小さくなる傾向が見られた。これらの結果から、小さな研削抵抗で持続的な加工が可能なSD2000Vを中仕上げ加工に使用し、良好な表面粗さの得られるSD5000BとSD12000Bを併用する加工工程の場合に目標の表面粗さを達成できることが明らかとなった。

2.3 SiCウエハの加工事例

これまでの開発成果から研削砥石の砥粒径およびボンド材による相違を体系的に把握することで、より少ない工程で良好な加工精度を得る最適な加工工程を選定することができた。粗加工にSD200Bを、中仕上げ加工にSD2000Vを、予備仕上げ加工にSD5000Bを、最終仕上げ加工にSD12000Bを使用した最適加工工程による超精密研削加工を実施した。主な研削加工条件を**表6**に示す。

研削加工後のSiCウエハの加工面には微細な研削痕が散見されたが、良好な鏡面が得られることを確認できた。この加工面における平面度および表面粗さの測定結果を**図7**に示す。平面度 $0.7 \mu\text{m}$ PV、表面粗さ 10nm Rzの良好な結果が得られた。更に、最終仕上げ加工においてSD12000Bに代えてSD24000Bを使用した加工実験を行った結果、SD12000Bの時よりも部分的に深い研削痕が生じ易い傾向が見られたが、表面粗さ 6nm Rzが得られることを確認した。

3. 高精度形状・鏡面研削技術の実用化の取り組み

本開発技術の実用化を進める取り組みとして、県内企業への企業訪問や研究会での研究成果発表、展示会への出展など、本開発技術の紹介を積極的に行つた。

表4 砥石条件の検討における研削加工条件

研削砥石	SD200B, SD1000B, SD2000B, SD2000V, SD5000B, SD12000B (以上、直径 200mm-幅 8mm) SD5000V, SD8000V (以上、直径 200mm-幅 20mm)
砥石周速度	600m/min
テーブル スピード	8m/min
ドレス方法	複合研削砥石法:SD200B, SD1000B GC プロック法:SD2000V, SD5000V, SD8000V SUS304 プロック法:SD2000B, SD5000B, SD12000B
保持方法	熱可塑性樹脂(常圧焼結 SiC)
動力計	Multicomponent Dynamometer, 9257B(KISTLER)

表5 各砥石における加工面粗さと研削抵抗

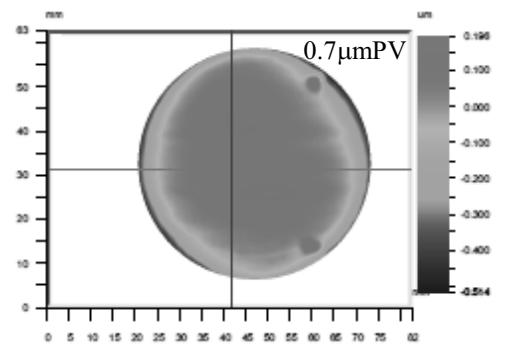
砥石	実験条件		実験結果			
	切込深さ [μm]	総切込量 [μm]	表面粗さ Rz [nm]	研削抵抗		研削回数を増加させた 場合の研削抵抗の状況
SD200B	1	4	2607	10.6	2.73	定常状態
SD1000B	1	4	275	23.2	4.6	定常状態
SD2000B	0.5	4	80	25.9	3.7	定常状態
SD2000V	0.5	4	582	6.6	1.6	定常状態
SD5000B	0.5	2	22	65.3	8.5	増加
SD5000V	0.5	2	150	17.8	2.45	定常状態
SD8000V	0.5	2	107	28.9	4.9	定常状態
SD12000B	0.3	1.2	13	42.1	5.8	増加

B:レジノイドボンド砥石, V:ビトリファイドボンド砥石

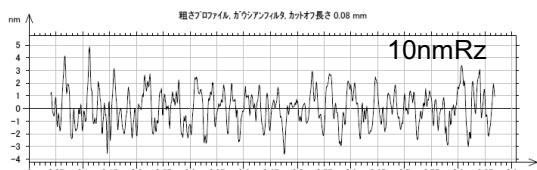
また、平成19年度から平成20年度までの二年間において県内外11企業延べ33件の技術移転を実施した。特に、SiC粉末焼結体に関する加工技術では、小径ガラスレンズ用金型やミラー製品、大型望遠鏡用主鏡をターゲットとした加工技術の技術移転を実施した。その他、本技術はより高い精度が要求される製品の開発や新規材料に対する超精密鏡面研削加工技術の開発などに利用されている。今後も、本技術のニーズは更に高まると考えられ、継続して更なる加工技術の高精度化を行う。

表 6 最適加工工程における研削加工条件

研削砥石	粗 : SD200B 中仕上げ : SD2000V 予備仕上げ:SD5000B 最終仕上げ:SD12000B
砥石周速度	600m/min
テーブル スピード	X(左右)8m/min, Z(前後)50~100mm/min
切込深さ, 総切込量, スパーク アウト回数	SD200B: 1 μ m / 面, 計 20 μ m, 2 回 SD2000V: 0.5 μ m / 面, 計 5 μ m, 4 回 SD5000B: 0.5 μ m / 面, 計 2 μ m, 4 回 SD12000B: 0.3 μ m / 面, 計 1.2 μ m, 10 回
ドレス方法	複合研削砥石法:SD200B GC ブロック法:SD2000V SUS304 ブロック法:SD5000B, 12000B
保持方法	熱可塑性樹脂(常圧焼結 SiC)



(a) 平面度の測定結果



(b) 表面粗さの測定結果

図 7 超精密研削加工後の単結晶 SiC ウエハの平面度および表面粗さの測定結果

4. 結言

単結晶SiCウェハの超精密鏡面研削加工技術の開発とこれまで開発した加工技術の実用化の推進を行い、次のような結果を得た。

- (1)被削材を常圧焼結SiCブロックに熱可塑性樹脂を用いて接着固定した場合に良好な平面度が得られた。
- (2)SD2000Vは削残しが少なく高能率加工に有効な砥石である可能性を示した。また、砥石周速度が600m/minの場合に良好な研削加工状態となる。更にSD5000Bにおいて、砥石周速度600m/minとして研削加工を行い、スパークアウトを繰り返すことで鏡面を得た。
- (3)様々な研削砥石を使用した場合の加工面粗さと研削抵抗を調査し、中仕上げ加工にSD2000V、予備仕上げ加工にSD5000B、最終仕上げ加工にSD12000Bを使用する最適加工工程を選定した。
- (4) (3)の最適加工工程で加工を行った結果、平面度0.7 μ m PV、表面粗さ10nmRzを得た。さらに、最終仕上げ工程でSD24000Bを使用した場合には表面粗さ6nmRzを得た。
- (5)本開発技術の実用化を進める取り組みとして、企業訪問や展示会への出展を行った。また、技術移転を11企業、延べ33件実施した。

参考文献

- 1) 森由喜男, 和嶋直, 鈴木福雄, 佐々木泰孝, 高橋正直, 児玉省明:宮城県工業技術センター研究報告, 27(1996), P13.
- 2) 森由喜男, 久田哲弥, 和嶋直, 林正博, 渡邊洋一, 家口心, 斎藤佳史:宮城県産業技術総合センター研究報告, 2 (2004), P15.
- 3) 庄司克雄ほか:超精密加工と非球面加工(2004), P177.
- 4) 森由喜男, 中塚朝夫, 久田哲弥, 家口心, 斎藤佳史:宮城県産業技術総合センター研究報告, 4(2006), P1.
- 5) 森由喜男, 中塚朝夫, 久田哲弥, 家口心, 斎藤佳史:宮城県産業技術総合センター研究報告, 4(2006), P7.
- 6) 山本悟, 平成19年度砥粒加工学会第4回企画・講習会テキスト, (2008), P20.
- 7) H. KASUGA, W. LIN, Y. WATANABE, T. MISHIMA, T. DOI, H. OHMORI, Efficient grinding of a 4H-SiC(0001) surface, J. Jpn. Soc. Adras. Technol., 52, 11 (2008) 645 (in Japanese).
- 8) 庄司克雄: 研削加工学, 養賢社, (2004) 89.

光学検出手法を用いたセンサデバイスに関する調査・研究

中居 倫夫・高田 健一・太田 靖

機械電子情報技術部

光センシング分野における技術支援ポテンシャルの向上を目的にして調査・研究を実施した。調査としては、光学デバイス関連技術の背景調査と企業調査を実施し、研究としては、センサデバイスの適用範囲を拡大することを目的に、機械機構の動作や電子回路の電流検出を遠隔・狭隘部に適用することを目指した、光ファイバ先端型の小型・高感度磁気センサについて、基本部の試作と原理的動作の確認を行った。

キーワード：光ファイバ、磁気センサ、磁気光学効果、偏光、磁区転移、薄膜磁性体

1. 緒言

光技術は、通信・情報処理・計測・加工・流通・エネルギーなど、あらゆる産業分野で活用されている。また、近年の技術革新と需要の拡大により、光関連装置・部品の価格が下がりコスト面でも取り入れやすくなり、装置の取り扱いが専門家でなくとも操作できるように技術的に成熟してきている。このような背景のもと、具体的なセンシングニーズを把握し、光センシングの適用範囲を拡大することを目的に本調査・研究を実施した。初年度である平成19年度は、技術背景調査と企業調査を実施するとともに、センサデバイス研究として、機械機構の動作や電子回路の電流検出を利用する検出手法である、薄膜磁性体の磁区転移を光信号に変換する手法について基礎検討を行った。平成20年度は、薄膜磁性体の磁区転移を光信号に変換してセンシングするシステムの実証、および、磁気光学効果であるカーポロ効果を用いて磁区転移を検出する手法について検討した。

2. 実験方法

一定磁場で磁区構造が転移する薄膜素子は、アモルファス状態のCoNbZr薄膜に面内で角度制御した一軸磁気異方性を誘導することで実現できる。この現象を高周波インピーダンス変化として検出する手法は、我々のグループが既に報告している。この素子の磁区転移現象を光信号として取り出し、利用することで、周期的な変動磁場中で光信号パルスを周期的に発生するデバイスが提案できる。

研究は、以下の手順で行った。

①磁区転移をパルス変換して磁場検出する手法開発

②磁区をカーポロ効果の偏光角変化で検出する手法開発

上記①は、磁区転移パルスを磁性体素子に複合化した平面コイルを用いて電磁誘導パルスとして検出し、これを光パルスに変換して信号処理を行う方式で動作の実証を行った。②は、手のひらサイズのポータブル分光器を用いて磁区転移を偏光変化として検出する手法の検討を行った。最終的に、①と②の手法を組み合わせて、光ファイバ先端型の小型・高感度磁気センサを実現することを目指した。

以上の開発計画に基づき、平成19年度は、素子に平面コイルを一体化した構造を試作し、磁区転移に伴うパルス信号の発生を実証するとともに、このパルス信号の電圧やパルス幅などのデータを収集することで、デバイス設計の基礎となる知見を得ることを目的とした。

平成20年度は、このパルス信号を光パルスに変換して光ファイバ中を伝送することで、遠隔地点で磁場変動を検出するシステムの検討を行った。また、センサ素子の磁区転移を磁気光学現象であるカーポロ効果を用いて検出する検討を行い、光ファイバとセンサ素子を光学的に直結するための検討を行った。最終的なターゲットは、光ファイバ先端型の小型・高感度磁気センサの実現であり、遠隔部の機械機構動作や電子回路の電流検出に応用するものである。

3. 実験結果及び考察

3.1 磁区転移パルスの検出

図1は、試作した素子の外観写真である。センサ素子である磁性薄膜を長さ5mm、幅50μmとして、これに平面コイルを一体化した構造となっている。素子・コイルとともにRFスパッタとフォトリソグラフィーを用いた薄膜プロセスで作製した。

図2は、素子磁性体のMH曲線と磁区構造の対応関

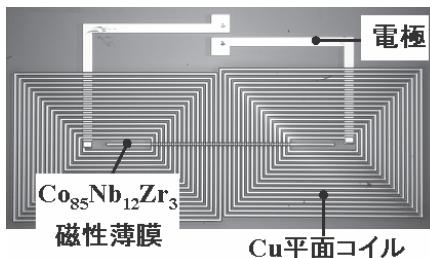


図1 平面コイルを複合化したセンサ素子の写真

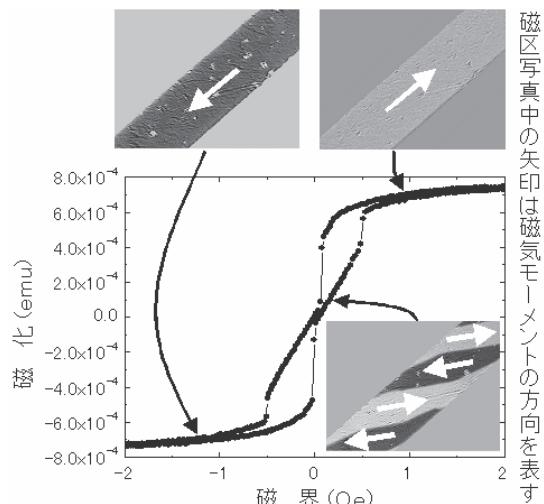


図2 センサ素子の MH 曲線と磁区の対応関係

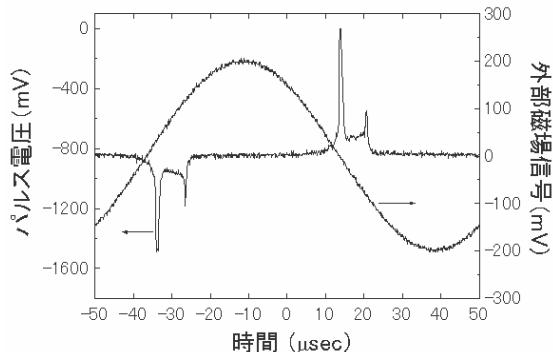


図3 交番磁場と発生するパルス信号波形

係であり、センサ素子1個のMH曲線を振動試料型磁力計(VSM装置)で測定したものである。図から、磁区構造転移に伴う磁化の不連続点の存在が磁化曲線上で明確に確認できた。

図3は、素子を交番磁場中に設置した際に発生したパルス信号であり、磁区転移点においてパルス信号が発生している様子が確認できた。以上の検討で磁区転移 \Rightarrow パルス信号の変換が確認され、光信号への信号変換とこれを用いたセンサデバイスの可能性が示された。

本節で報告したパルス発生原理と現象の詳細については参考文献に詳細を検討してある¹⁾。

3.2 磁区転移パルスを用いた磁場検出

図4は、検討したシステムの概略図と実験システムの全体図である。システムは、センサ素子で発生するパルス信号を光パルスに変換して、5mの光ファイバを通過させた後、この光パルスの時間間隔を計測してセンサ部の磁場をセンシングする検出システムである。本実験では、センサに1kHzの交流磁場と時間変化しない定常磁場を印加してパルス信号を発生させている。交流磁場で連続的なパルス信号を発生させ、定常磁場の変化がこのパルスの時間間隔を変化させる特性を利用して磁場をセンシングした。センサ素子の構造は、図1に示したものと同じである。

図5に、定常磁場の変化に対する光パルスの発生時間間隔の変化を示す。この結果から、本システムは地磁気レベル以下の磁場変動を検出可能であることが示され、光ファイバ先端型の磁気センサで高感度な磁場検出を実現できる可能性を示した。

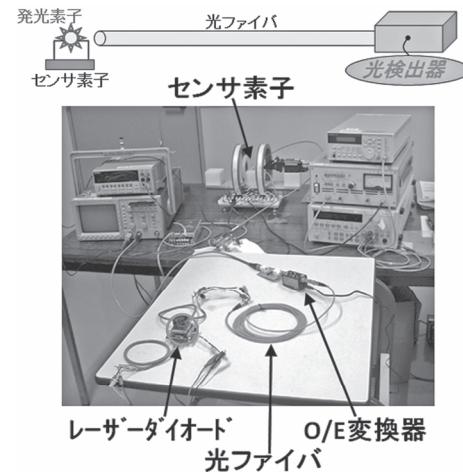


図4 光ファイバ磁気センサシステムの概略図
および、実験システムの全体図

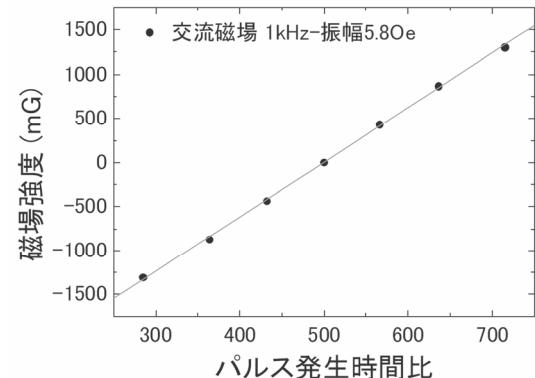


図5 磁場変化と光パルス発生時間間隔の変化

3.3 磁気光学効果を用いた磁区転移検出の検討

センサ素子の磁区転移を電気信号に変換することなく、直接光で検出する手法として磁気光学効果を利用する方法が良く知られている。この方法は、磁区構造変化に伴う反射光の偏光変化を検出する手法である。本検討は、センサ素子の磁区転移を直接光で検出することで、提案する光ファイバ先端型磁気センサのセンサヘッドを小型化することを目的とした。

図6に実験システムの概観図を示す。システムは、タンゲステンハロゲンランプの小型光源、手のひらサイズのポータブルCCD分光器を用いて構築した。光信号は、光ファイバを通して誘導し、センサ素子には入射角35°で入射した。入射光と反射光にそれぞれ偏光板を挿入して、偏光角の変化を光強度の変化に変換して検出した。

図7は、磁区転移前後で測定された光のスペクトル波形の変化である。およそ、500nmから900nmの波長範囲で磁区転移前後の信号レベルが変化していることがわかった。

図8は、690nmから710nmの波長範囲の信号レベルを平均値に換算して、この信号レベルの時間変化を測定した結果である。センサ素子には、手動制御で約10秒ごとに磁区が転移する磁場を印加して測定した。結果として、磁区転移に伴う信号が明瞭に検出されることが確認できた。今後、この磁区転移信号と前節3.2の手法を組み合わせることで、小型高感度な光ファイバ先端型磁気センサの構築が図れるものと期待できる。

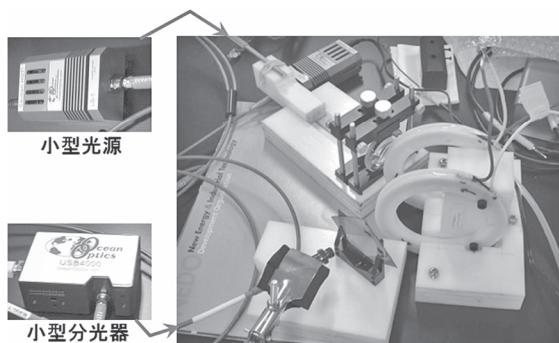


図6 磁気光学効果検出の実験システム概観図

4. 結言

遠隔点や狭隘部における機械機構の動作や電子回路の電流検出に利用する、小型・高感度な光ファイバ磁気センサを実現することを目的に、一定磁場で磁区転移を発生する素子を用いてシステム構築の検討を行ない、次のような結果を得た。

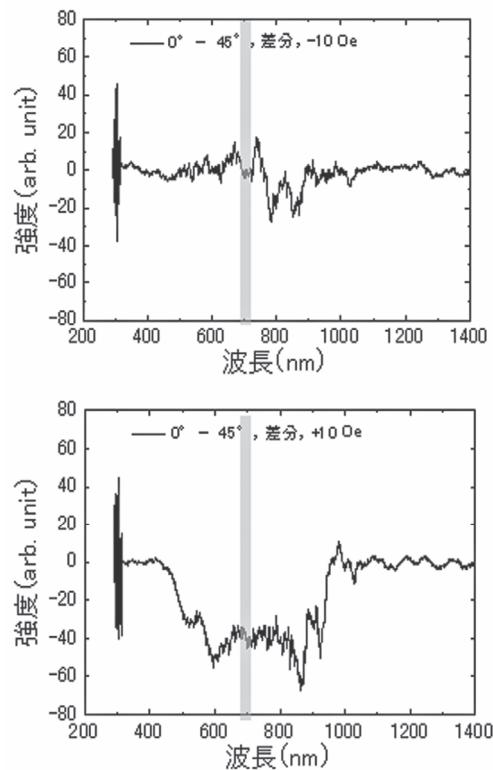


図7 磁区転移前後の光スペクトル波形変化

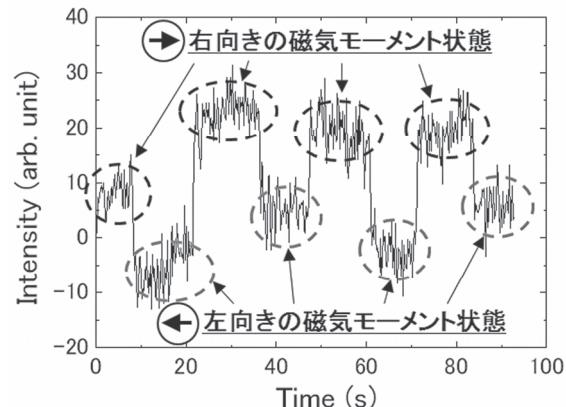


図8 磁区転移に伴う光信号レベルの変化

- (1) 磁区転移点を検出して磁場検出するシステムを構築して、地磁気レベル以下の磁場検出が可能であることを実証した
- (2) 素子の磁区転移を、光ファイバを用いた光学系と小型ポータブルなCCD分光器を用いて検出可能であることを実証した

参考文献

- 1) 中居倫夫, 高田健一, 石山和志 : J. Magn. Soc. Jpn., 33(2009), p.287

ディジタル画像処理の先端システム設計に関する研究

太田晋一**,*・小熊博*・笠松博*・氏家博輝*・堀豊*

*機械電子情報技術部 **企画・事業推進部

近年、製造工程管理での検査・計測、セキュリティ分野での自動監視などの様々な分野において、デジタル画像処理の必要性が急速に高まっている。本研究では、主に、三次元形状計測情報を取得可能なカメラシステム及び偏光情報を取得可能なカメラシステムの開発と応用についての検討を行った。三次元形状計測情報を取得可能なカメラシステムでは、ステレオカメラ画像間の対応づけに、高精度な領域ベースマッチング手法である位相限定相関法を利用した。顔や黒毛和牛の三次元計測への応用を示した。偏光情報が取得可能なカメラシステムでは、CCDの前に、画素単位で偏光透過軸方向の異なるフォトニック結晶偏光子アレイを配置した。窓の映りこみ除去、物体の形状情報の取得及び道路面の検出への応用を示した。

キーワード：画像・信号処理、ステレオビジョン、位相限定相関法、偏光、光計測、フォトニック結晶、CCD

1. 緒言

従来、デジタル画像処理はその演算量の多さ故に、初期コストが非常に高い専用ハードウェア(ASIC)を用いる必要があった。しかし、近年、半導体技術の向上により、初期コストが低い汎用ハードウェア(CPU,DSP,FPGA等)を用いてシステム構築が可能となってきている。それに伴い、製造工程管理での検査・計測、セキュリティ分野での自動監視などの様々な分野において、デジタル画像処理の必要性が急速に高まってきていている。

本研究では、デジタル画像処理の応用として、主に、三次元形状情報を取得可能なカメラシステム及び偏光情報を取得可能なカメラシステムの開発と応用についての検討を行った。

2. 三次元形状情報を取得可能なカメラの開発と応用

2.1 はじめに

近年、コンピュータグラフィックス技術の発展により、さまざまな分野で三次元形状モデルが利用されるようになっている。それに伴い、高精度な非接触三次元形状計測システムが求められている。図2-1に三次元計測手法の大まかな分類を示す¹⁾。非接触型は、能動型と受動型に大別される。能動型はレーザーや構造光を照射して計測を行う方法である。計測精度が高いものの、計測対象を拘束するため、動的対象の測定は難しい。一方、ステレオビジョンに代表される受動型は環境光のみで計測を行う方法である。一般に、受動型計測は能動型計測と比較して、計測精度が低い。これに対し、本研究では、東北大学を中心とした研究グループが体系的

な研究を行っている位相限定相関法²⁾³⁾⁴⁾をステレオカメラ画像間の対応づけに利用した高精度受動型三次元形状計測システムを提案する。

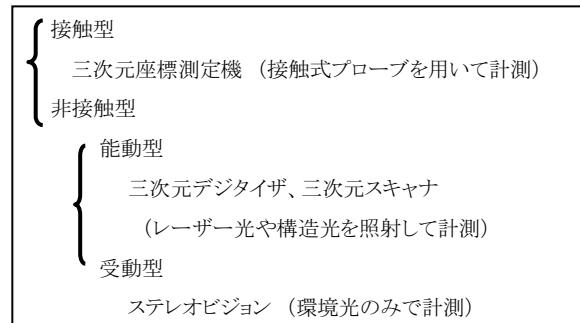


図2-1 三次元計測手法の分類

2.2 ステレオビジョンの原理

図2-2に受動型三次元形状計測の原理を示す。視点の異なる画像を利用して三角測量の原理により三次元形状を計測する。

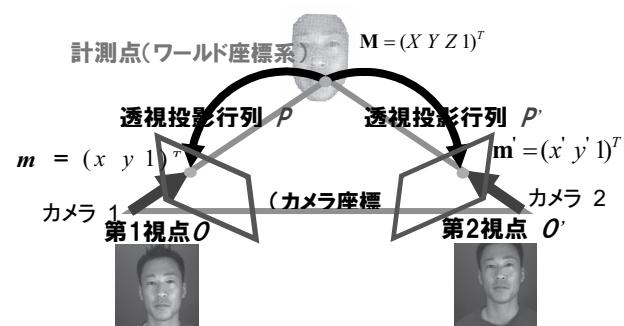


図2-2 ステレオビジョンの原理

図2-3に、ステレオビジョンでの三次元形状計測手順を示す。

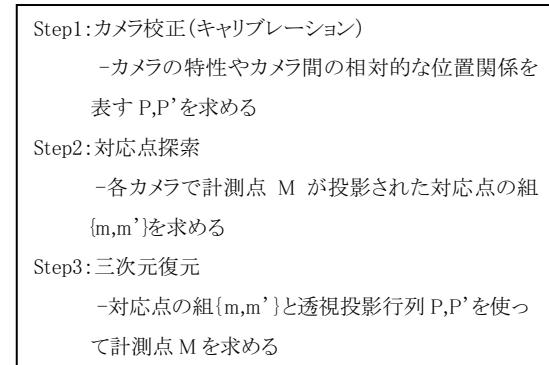


図2-3ステレオビジョンでの三次元形状計測手順

Step1のカメラ校正は、Z.Zhangの手法を用いた⁵⁾。Step2の対応点探索の精度は、三次元計測精度に大きく影響する。対応点探索手法は、特徴ベースマッチング手法及び領域ベースマッチング手法に大別される。特徴ベースマッチング手法は、エッジやコーナー等の特徴点を抽出し、その特徴点どうしの対応を求める手法である。特徴点での対応づけ精度は良いが、画像全域にわたって正確な対応づけを求めるることは難しい。領域ベースマッチング手法は、画像を小領域の窓に分割し、各窓について他方の画像上で対応を求める手法である。類似度(相関)の計算には、SSD(Sum of Squared Difference、差の2乗和)やSAD(Sum of Absolute Difference、差の絶対値和)が利用されることが多い⁶⁾が、精度が高いとは言えない。そこで、本研究では、高精度な領域ベースマッチング手法として、二次元離散フーリエ変換の位相情報に基づく位相限定相関法を利用して、サブピクセル精度でのステレオ画像間の対応付けを行う手法を用いた。図2-4に、位相限定相関法の概要を示す。さらに、計算量と誤対応点の低減のために多重画像を利用した階層マッチング手法を用いた。

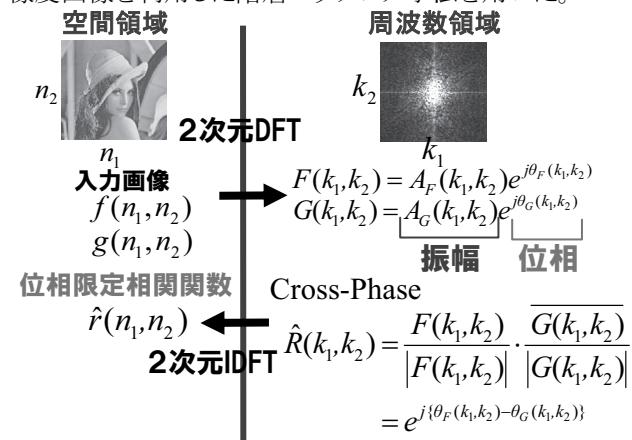


図2-4 位相限定相関法の概要

2.3 システム構成

図2-5に構築した受動型三次元形状計測システムの外観を示す。本システムは、2つのカメラを並行に配置した1組のステレオカメラヘッドとPCから構成される。図2-6に示すカメラヘッドのベースラインは、筐体を接触させ、最小値の51mmに設定した。一般に、ベースラインを狭くすると、各ピクセルに対してステレオ画像の対応づけが容易になるが、奥行き方向の誤差が大きくなり、計測した三次元データの精度が低いという問題がある。位相限定相関法を用いた高精度な対応づけによりこの問題を解決している。図2-7にシステムの構成を示す。



図2-5 受動型三次元形状計測システムの外観

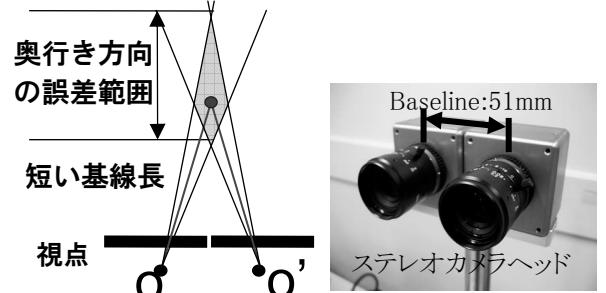


図2-6 ステレオカメラヘッド

Image size : 1280 × 960pixels (約140万画素)
CCD : Scorpion SCOR14SOM
8 bits digital resolution
monochrome (PointGray)
Lens : μ TRON, FV1520
15mm focal length
Measurement range : 400~600mm
Lighting : ambient light

図2-7 システムの構成

2.4 計測評価

開発した受動型三次元形状計測システムにより得られた顔の三次元データを図2-8に示す。ソフトウェアは、アルゴリズム研究開発には高水準言語Matlab/Simulinkを用い、高速画像処理にはC言語、GUI及び表示ソフト

ウェア構築にはVisualStudio 2005(MicroSoft社)及びグラフィックライブラリOpenGLを用いた。

計測精度を評価するために、木目模様の平板の平面性を計測する実験を行った。その結果、カメラヘッドからの距離が500mmの位置にある平板の平面性を、RMS(Root Mean Square)誤差約0.1mmで計測できた⁷⁾。計測点数と処理時間を表2-1に示す。処理時間には、撮影から三次元データの計算及びテクスチャマッピング表示までの時間が含まれる。処理に用いたCPUはIntel Xeon 2.40GHzである。

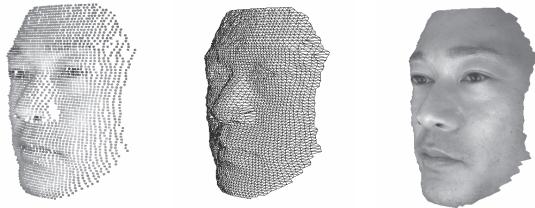


図2-8 顔の三次元形状計測結果(約3000点)

表2-1 計測点数と処理時間

計測点数	342	766	1346	3077	4806	12295
処理時間(sec)	0.65	0.93	1.32	2.46	3.57	8.94

2.5 黒毛和牛の生育評価への応用例

一般に、黒毛和牛の生育評価は測尺器での測定結果を用いている。しかし、測定の際に危険が伴うこと、測定箇所が限られ、経験に基づく評価が行われていることなどが問題であり、全体の三次元形状を非接触で計測し、数値的・客観的に評価することへの期待は大きい⁸⁾。レーザー光や構造光を照射して計測する能動型(図1参照)を用いた研究が行われているが⁹⁾、コストが高くなること、計測対象を拘束する必要があること、屋外での利用の際や黒色部分の計測の際に、照射したパターンを読み取ることが容易ではないなどの問題もある。構築した受動型三次元形状計測システムの、計測対象を拘束しない利点及び屋外での利用が可能である利点を生かし、宮城県畜産試験場にご協力頂き、黒毛和牛の形状計測及び生育評価への応用の検討を行った。おりひめ1の測定結果を図2-9に示す。システムの構成は、図2-7から、レンズ及び測定範囲の設定を以下に変更して用いた。

- Lens : μ TRON, FV1022 10mm focal length
- Measurement range : 約5500mm付近

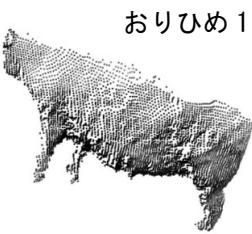


図2-9 撮影画像(上)と三次元形状測定結果(下)

また、計測精度評価のための、基礎実験として、仙台牛の礎を築いた茂重波の1/1スケールの銅像を計測した。図2-10に測定の様子を示す。図2-11に、成育評価で重要となる測定箇所を示す。体高(A-M)、十字部高(C-N)、水平体長(K-F)を計測した。表2-2に、これらの箇所の測尺器での実測結果と受動型三次元形状計測システムでの測定結果を示す。図2-12に測定した三次元形状データを示す。今後、複数の牛にて実用化に向けた評価を行う予定である。



図2-10 仙台牛の1/1スケール銅像の測定の様子



図2-11 計測箇所(体高 : A-M、十字部高 : C-N、水平体長 : K-F)

表2-2 測尺器と受動型三次元形状測定システムでの測定値の比較

計測位置 (cm)	体高 (A-M)	十字部高 (C-N)	水平体長 (K-F)
測尺器 実測値	141	139	170
受動型三次元形状 計測システム測定値	143	138	168

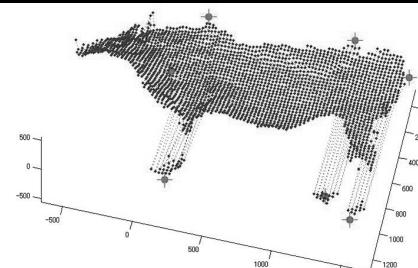


図2-12 測定した三次元形状データ

2.6 三次元スキャナのテクスチャ情報付加への応用

三次元スキャナは容易に全周囲三次元形状を計測することが可能である(図2-1参照)。しかし、色・質感などを表すテクスチャ情報を得ることはできず、応用範囲が限定される。そこで、ステレオビジョンでの知見を応用し、一眼レフカメラで撮影した二次元画像と三次元形状との対応づけを画像処理にて行い、テクスチャ情報を付加する手法について検討を行った。

二次元画像と三次元形状の対応づけ問題は、幾何学的関係を用いて同次座標系の 3×4 透視投影行列 P (perspective projection matrix)を求める問題である。透視投影行列 P は、未知数11個・最低6点の対応付けにて求めることが可能であるが、誤差の影響を軽減するために、15点の対応付けにて最小二乗法により求めた。図2-13に、全周囲三次元形状を計測するために用いた三次元スキャナを、図2-14に、測定方法及びSTL形式の測定結果を示す。図2-15に、二次元画像上に三次元点群を投影した結果を示す。図2-16に、テクスチャ情報を付加した三次元データを示す。Webブラウザ上でも閲覧可能なVRML形式にて作成している。



図2-13 三次元スキャナ(LPX-60, Roland)

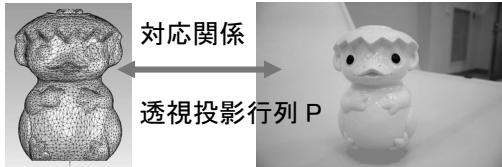


図2-14 測定結果(STL)及び撮影画像(JPEG)



図2-15 撮影画像に三次元点群を投影した結果



図2-16 テクスチャ情報を付加した三次元データ(VRML)

3. 偏光情報を取得可能なカメラの開発と応用

3.1 はじめに

光の波には、振幅・波長・振動方向の3つの情報が含まれる。振幅は明るさ、波長は色であり、残る1つの情報、振動方向が偏光である。偏光には、光源の方向や反射面の向きなどのさまざまな情報が含まれている。偏光は液晶ディスプレイ、三次元ディスプレイ、偏光サングラスなどの身近な製品に広く応用されている。

一般に、通常の撮像素子では空間の輝度情報のみを取得可能であり、光のもう一つの情報である偏光情報は無視されている。偏光情報を取得する際には、通常、撮像素子の前に配置した偏光子を回転させながら撮影する方法や透過軸方向の異なる偏光子を設置した複数台のカメラを用いて撮影する方法などを用いる(図3-1)。このような方法においては、計測に時間を要するために高速化において限界があることや大掛かりなシステムが必要になることが問題となっている。

これに対し東北大学、株式会社フォトニックラティス、財団法人仙台応用情報学振興財団を中心とした筆者らの研究グループでは、CCDの1画素単位で透過軸を制御したパターン化偏光子をCCDに直接貼り合わせた偏光イメージングカメラを提案している^{10)~15)}。偏光イメージングカメラは、1台のカメラを用いた1度の撮影で、空間の偏光情報を輝度情報を同時にリアルタイムに取得可能である。

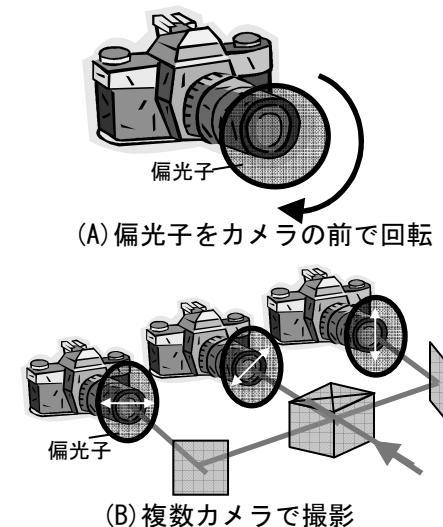


図3-1 従来の偏光情報の取得方法

3.2 偏光イメージングカメラの概要

図3-2に偏光イメージングカメラの外観を示す。図3-3に偏光子アレイを貼り合わせたCCDの外観と拡大イメージを示す。使用したカメラの画素数は 1380×1240 pixel、フレームレートは8f/sec、1/2インチモノクロCCDを持ち、PCにはUSB接続できる。偏光子アレイは、画素数 1164×874 、1画素 $4.65 \mu\text{m}$ 角ピッチ、透過軸方向が45度ず

つ異なる4パターンから構成される。



図3-2 偏光イメージングカメラの外観

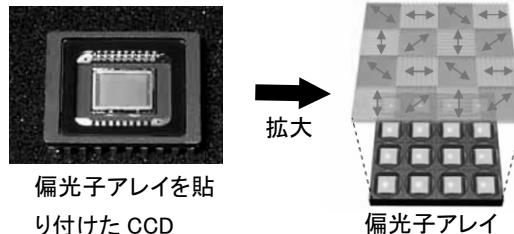


図3-3 偏光子アレイを貼り合わせたCCDの外観と拡大イメージ

偏光子アレイは、筆者らのグループから提案された「自己クローニング法」で作製している¹⁶⁾¹⁷⁾。自己クローニング法とは、スパッタリングによる薄膜形成技術を応用したもので、凹凸のある基板上に、その凹凸のパターンを保存したまま多層膜を積層できる方法である。具体的には、パターニングした基板上に、エッチングを行しながら多層膜のコーティングを行う。製膜とエッチングのバランスを最適化することで、一定角度の斜面が選択的に保存される。

図3-4に偏光子アレイの概略図とその表面の電子顕微鏡SEM写真を示す。xy面内での異方性を利用して、z方向に伝搬する光において、溝に平行な偏光(以下TE偏光と呼ぶ)と垂直な偏光(以下TM偏光と呼ぶ)との間でブリッジ反射による遮断する波長域がずれることを利用して、偏光分離を実現させている¹⁸⁾¹⁹⁾。

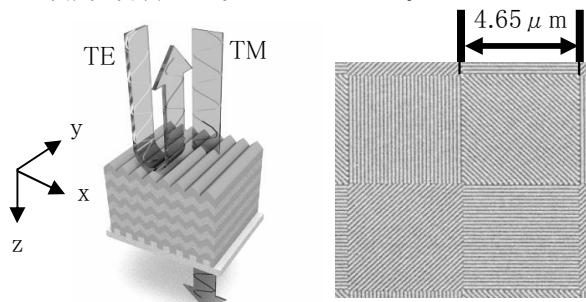


図3-4 偏光子アレイの概略図とSEM写真

偏光子の波長-透過率特性を図3-5に示す。波長550nm以下において消光比500程度のものを用いている。なお、このままで550nm以上の光は両偏光とも透過するため、偏光子の裏面に多層膜フィルタを形成し、その波長域の光はカットしている。

過するため、偏光子の裏面に多層膜フィルタを形成し、その波長域の光はカットしている。

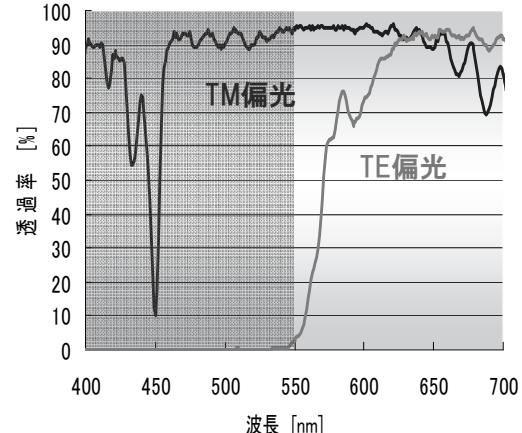


図3-5 偏光子の波長-透過率特性

図3-6に偏光イメージングカメラを用いて直線偏光フィルタを撮影した画像を示す。透過軸方向が45度ずつ異なる偏光子アレイの4パターンを反映してモザイク模様になっていることが分かる。

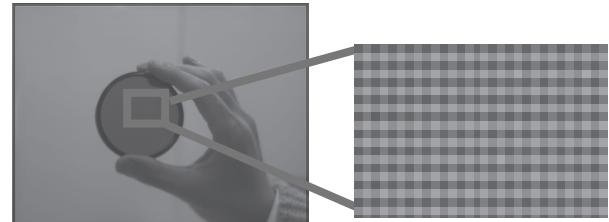


図3-6 偏光イメージングカメラを用いた直線偏光フィルタの撮影画像(左:直線偏光フィルタ、右:拡大図)

3.3 偏光情報の取得方法

偏光イメージングカメラを用いて撮影した画像から偏光情報を取得する手法を示す。隣接する偏光子アレイは、図3-7に示すように、透過軸方向が45度ずつ異なる0,45,90,135度の4パターンから構成される。

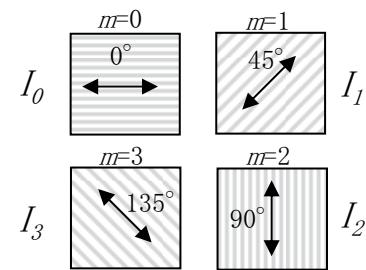


図3-7 隣接する偏光子アレイ

これらの偏光子アレイの受光強度 I_m は、図3-8のように正弦的に変化し、平均値 M と振幅 A を用いて、偏光子の方位に依存しない強度と偏光子の方位に依存する強度の和として式(1)のように表される。受光強度が最大とな

る方向(以下偏光主軸方向と呼ぶ)を α とする。偏光子の方位 $m(m=0,1,2,3)$ は、0,45,90,135度に対応する。

$$I_m = M + A \cdot \left\{ \cos \left(2\alpha - \frac{\pi}{2} \cdot m \right) \right\} \quad -(1)$$

$m(m=0,1,2,3)$: 偏光子の方位

M : 平均値 A : 振幅 α : 偏光主軸方向

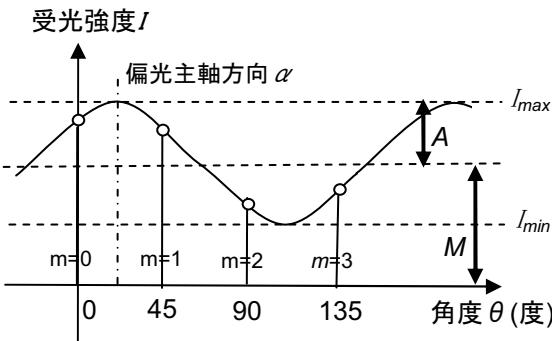


図3-8 偏光子アレイの受光強度

透過軸方向が45度ずつ異なる0,45,90,135度の4パターンから得られた受光強度 I_0, I_1, I_2, I_3 を式(2)、式(3)のように、フーリエ解析することで、式(4)、式(5)のように振幅 A 、偏光主軸方向 α を求めることができる²⁰⁾。

$$F = \sum_{m=0}^3 I_m \cdot e^{-j2\pi \frac{m}{4}} = (I_0 - I_2) + j(-I_1 + I_3) \quad -(2)$$

$$\operatorname{Re}\{F\} = I_0 - I_2 \quad \operatorname{Im}\{F\} = -I_1 + I_3$$

$$F = \sum_{m=0}^3 I_m \cdot e^{-j2\pi \frac{m}{4}} = \sum_{m=0}^3 \left[M + A \cdot \cos \left(2\alpha - \frac{\pi}{2} \cdot m \right) \right] \cdot e^{-j2\pi \frac{m}{4}}$$

$$= 2A \cdot e^{j2\alpha} \quad -(3)$$

式(2)、式(3)より、振幅 A と偏光主軸方向 α は、式(4)、式(5)のように求めることができる。

$$A = \frac{|F|}{2} = \frac{\sqrt{\operatorname{Re}\{F\}^2 + \operatorname{Im}\{F\}^2}}{2} \quad -(4)$$

$$\alpha = \frac{\arg\{F\}}{2} \quad -(5)$$

平均値 M は、式(6)のように求めることができる。

$$M = \frac{1}{4} \cdot \sum_{m=0}^3 I_m \quad -(6)$$

平均値 M と振幅 A と偏光主軸方向 α 偏光情報の解析では、式(4)の絶対値の計算と式(5)の三角関数の計算

を配列化したテーブルを用いることで、加減算とシフト演算のみで実現可能であり、処理の高速化が可能である。実際に、Intel Pentium4 PC(3.2GHz)において、150万画素あたり約4msec程度で処理を実現しており、偏光情報処理画像のリアルタイム表示を実現している。

3.4 偏光イメージングカメラの応用例

偏光イメージングカメラの応用例として、窓の映りこみ除去、物体の形状情報取得及び道路面検出を示す。

3.4.1 窓の映りこみ除去

偏光イメージングカメラを用いて車のフロントガラスを撮影し、偏光成分を除去することによって、映りこみを除去した結果を示す。一般に、ガラス面での映りこみは強く偏光している。写真の撮影の際には、カメラの前に配置した偏光子を適切な角度に回転させることで、特定のガラス面の反射を除去する方法が多く用いられる。しかし、図3-9の撮影画像のように方向の異なる複数のガラス面が存在する場合、すべてのガラス面の映りこみを同時に除去することはできない。これに対し、偏光イメージングカメラは、画素単位で偏光情報を取得し、偏光成分を除去することが可能であるために、複数のガラス面の映りこみを同時に除去できている。映りこみを除去した画像は、撮影画像から I_{min} (=M-A)を抽出した画像である。



図3-9 撮影画像(左)と映りこみを除去した画像(右)

3.4.2 物体の形状情報の取得

偏光イメージングカメラを用いて物体を撮影し、偏光主軸方向を抽出することによって、物体の形状についての情報を取得した結果を示す。

一般に、物体の表面反射は、入射する光が偏光していない場合、反射面に平行なS偏光の反射率の方がP偏光の反射率より大きい。そこで、表面反射の偏光主軸方向からS偏光の向きを特定し、反射面の方向の情報を得ることで、偏光から形状についての情報を得ることができる。実際に、宮崎らは偏光情報を用いて透明物体の三次元形状の検出に成功している²¹⁾。

ボールと人形の偏光イメージングカメラでの撮影画像と偏光主軸方向の情報を表示させた結果を図3-10に示す。偏光主軸方向の画像は、撮影画像から偏光主軸方

向 α を抽出し、カラーマップに従い表示させたものである。撮影は、ドーム状の白い布の中にボールを置き、拡散照明を用いている。

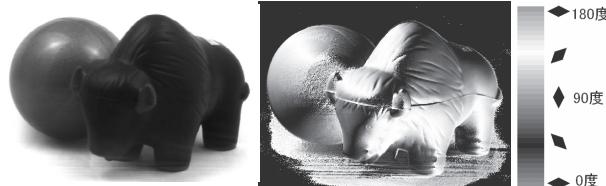


図3-10 撮影画像(左)と偏光主軸方向の画像(右)

(濃淡表示では0度と90度は区別できないが、データ上は区別可能)

ボールと人形の形状を反映し、それぞれの方向に対応した濃淡が表示されていることがわかる。なお偏光方向は180度異なる面で同じ方向となるので、ある面とその180度反転した面は同じ濃淡を表示する。今回のような、偏光主軸方向だけの情報では、面の向きは完全には決まらず、奥行き方向の情報も得られない。したがって物体の三次元形状の一部の情報を得ているといえる。また、ボールと人形の境界は、輝度情報では識別が難しいが、それぞれの境界での面の方向は大きく異なっているために、偏光情報を用いることで境界を容易に識別できている。

3.4.3 道路面の検出

偏光イメージングカメラを用いて道路面を撮影し、偏光情報を用いて道路面を検出した結果を示す。

道路面はほぼ連続した面で構成されるため、反射光の偏光主軸方向はほぼ一様であり、その形状に合わせて緩やかに変化する。また、車を運転する際に、偏光サングラスを着用する場合があることからも分かるように、偏光成分強度が比較的強い。一方、道路面以外の構造物は、通常、道路面より複雑な構造か、別の方向をもつ面で構成されている。従って、このような道路面の偏光情報の特徴から、道路面の検出を行える可能性がある。

偏光イメージングカメラを用いて道路面を撮影し、偏光主軸方向の情報を表示させた画像を図3-11に示す。

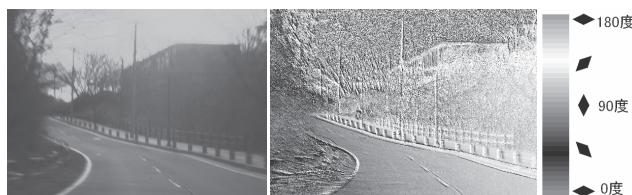


図3-11 撮影画像(左)と偏光主軸方向の画像(右)

今回は、上記の道路面の偏光情報の特徴をふまえ、以下の手順で検出を行った。

Step1: 偏光イメージングカメラを用いて道路面を撮影し、2節の処理手順に従い、平均値 M と振幅 A と偏光主軸方向 α の画像を作成する。

Step2: 平均値 M と振幅 A の画像から、どれだけ偏光しているかを表す指標である偏光度 ρ の画像を作成する(式(7))。

$$\text{偏光度 } \rho = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} = \frac{A}{M} \quad (7)$$

Step3: 偏光度の大きい領域を検出するために、偏光度の2値化画像を作成する(図3-12左)。

Step4: 偏光主軸方向が緩やかに変化する領域を検出するために、偏光主軸方向の画像に空間微分フィルタを適用後、2値化画像を作成する(図3-12右)。

Step5: 図3-12左からもわかるように、今回用いたStep2の処理手順の場合、急峻な輝度値変化を伴うエッジ部分において、計算上では偏光度が大きくなる。しかし、このような領域は、偏光主軸方向が安定していない場合が多い。そこで、今回は、偏光度が大きくかつ偏光主軸方向が緩やかに変化する領域を検出するために、Step3とStep4のAND画像を作成し、2回の収縮・膨張処理を行っている。

図3-13に道路面の候補の検出結果を白色で表示した画像を示す。道路面の検出では、ステレオカメラを用いた三次元形状計測による手法の研究が多く行われている²²⁾。道路面の偏光情報を用いることは、さらに計算負荷を軽減しリアルタイム性を高めることやロバスト性を高める上で重要な意味を持つと考えられる。

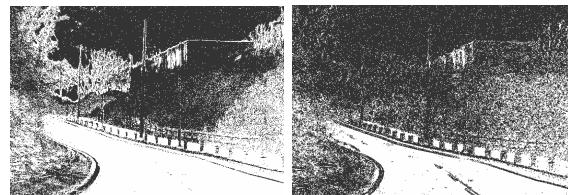


図3-12 偏光度の2値化画像(左)と偏光主軸方向の空間微分フィルタ適用後の2値化画像(右)



図3-13 道路面の検出結果(検出領域:白色)

4. 結言

三次元形状計測情報を取得可能なカメラシステム及

び偏光情報を取得可能なカメラシステムの開発と応用についての検討を行った。偏光イメージングカメラに関しては、その原理を応用した2次元光学リタデーション計測の検討も行った²³⁾。本研究は、東北大学大学院情報科学研究科青木研究室及び東北大学発の研究開発型ベンチャー企業である株式会社フォトニックラティスとの共同研究により実施した内容である。この場をお借りし、関係各位に深謝致します。

本研究で用いたMatlab/Simulink(通信アルゴリズムシミュレータ)は、H18年度自転車振興会の補助により導入したものであり、感謝致します。

参考文献

- [1] 吉澤 徹:「最新 光三次元計測」, 2007
- [2] K. Takita et al.: "High-accuracy subpixel image registration based on phase-only correlation," ,IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E86-A, No. 8, pp. 1925–1934, August 2003.
- [3] K. Takita et al.: "A Sub-Pixel Correspondence Search Technique for Computer Vision Applications," ,IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E87-A, No. 8, pp. 1913–1923, August 2004.
- [4] N. Uchida et al. : "3D face recognition using passive stereo vision," ,Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, pp. II -950–II -953, September 2005.
- [5] Z. Zhang: "A flexible new technique for camera calibration," ,Technical Report MSR-TR-98-71, Microsoft Research, December 1998.
- [6] デジタル画像処理編集委員会監修, 「デジタル画像処理」, (財) 画像情報教育振興協会, 2004年
- [7] 太田晋一, 柴原琢磨, 内田尚秀, 沼徳仁, 押野敬之, 青木孝文: "位相限定相關法に基づく高精度受動型3次元形状計測システムの開発," ,電子情報通信学会2006年総合大会, No. D-12-58, p.190, March 2006.
- [8] 畜産分野における三次元計測の需要と必要精度, 第18回モアレ・3次元計測研究会抄録集, p17–18 (1993)
- [9] 畜産試験場で開発した家畜用三次元形態計測装置の仕様と性能, 第90回日本畜産学会大会講演要旨, p44 (1995)
- [10] 川上彰二郎, 川嶋貴之, 井上喜彦, 本間洋, 佐藤尚, 太田晋一, 長嶋聖, 青木孝文: "フォトニック結晶偏光子を用いた偏光イメージングカメラの開発," ,電子情報通信学会論文誌C(招待論文), Vol. J90-C, No. 1, pp. 17–24, January 2007.
- [11] 川嶋貴之, 佐藤尚, 川上彰二郎, 長嶋聖, 太田晋一, 青木孝文."パターン化偏光子を用いた偏光イメージングデバイスと利用技術の開発," ,電子情報通信学会 2006年総合大会, No. D-11-52, March 2006.
- [12] 川嶋貴之, 佐藤尚, 本間洋, 川上彰二郎, 太田晋一, 青木孝文: "フォトニック結晶偏光子を用いた偏光イメージングデバイスの開発," ,ナノ光・電子デバイスシンポジウム 量子ドットとフォトニック結晶, P-24, May 2006
- [13] 川嶋貴之, 佐藤尚, 本間洋, 井上喜彦, 川上彰二郎, 太田晋一, 長嶋聖, 青木孝文: "偏光子アレイを用いた偏光イメージングカメラの開発," ,2006年秋季 第67回応用物理学学会学術講演会, No. 31a-T-3, August 2006.
- [14] 川嶋貴之, 井上喜彦, 本間洋, 佐藤尚, 川上彰二郎, 長嶋聖, 太田晋一, 青木孝文: "フォトニック結晶偏光子を集積した偏光イメージングカメラの開発," ,2006年ソサイエティ大会 講演論文集, No. C-3-92, September 2006.
- [15] 川嶋貴之, 佐々木昌宣, 井上喜彦, 本間洋, 佐藤尚, 太田晋一, 川上彰二郎: "フォトニック結晶を用いた偏光イメージングカメラの作製と応用" ,第32回光学シンポジウム, 講演番号3, July 2007
- [16] S. Kawakami, T. Kawashima, and T. Sato,: "Mechanisms of shape-fabrication of 3D periodinanostructures by bias sputtering," Appl. Phys. Lett., 74, 463, 1999.
- [17] T. Kawashima, Y. Sasaki, K. Miura, N. Hashimoto, A. Baba, H. Ohkubo, Y. Ohtera, T. Sato, W. Ishikawa, T. Aoyama, and S. Kawakami:"Development of autocloned photonic crystal devices," IEICE Trans. Electron., vol.E87-C, 283–290, 2004.
- [18] 川嶋貴之, 大寺康夫, 佐藤尚, 川上彰二郎: "2次元フォトニック結晶偏光分離素子の高性能化," 電子情報通信学会総合大会, C-3-1, 2000年3月.
- [19] 川嶋貴之, 井上喜彦, 佐藤尚, 川上彰二郎: "可視光用フォトニック結晶偏光子の開発," 第52回応用物理学関係連合講演会, 29p-YV-11, 2005年3月
- [20] 太田晋一, 川嶋貴之, 井上喜彦, 本間洋, 佐藤尚, 川上彰二郎, 長嶋 聖, 青木孝文: "パターン化偏光子を用いた偏光イメージングデバイスの開発と応用," 第126回 システムLSI設計技術研究発表会, No.111, pp. 189 -- 194, October 2006.
- [21] 宮崎大輔, 池内克史: "偏光レイトレーシング法による透明物体の表面形状の推定手法," 電子情報通信学会論文誌D-II, Vol. J88-D-II, No. 8, pp. 1432–1439, 2005年8月 .
- [22] 関晃仁, 奥富正敏: "道路面の抽出・姿勢推定をもとにした一般道路環境下におけるロバストな障害物検出," 電子情報通信学会論文誌D, Vol. J89-D, No. 8, pp. 1859–1868, 2006年8月
- [23] 川嶋貴之, 佐藤 尚, 本間 洋, 井上喜彦, 佐々木正宣, 川上彰二郎, 太田晋一: "偏光イメージングカメラによる2次元リタデーション計測," 2007年春季 第54回応用物理学関係連合講演会, No. 28a-S-1, March 2007.

中山間地を対象とした次世代ヘルスケアシステムを基盤とする地域振興に関する研究

堀 豊
機械電子情報技術部

本研究事業全体では、地域の中山間地を対象に、ブロードバンドを活用し、地域の高齢者にも易しく使える遠隔型健康福祉サービスを提案することを目標とする。当センターの分担課題として、生体情報や位置などの環境情報を測定し健康管理サーバにアップロードする「次世代ヘルスケアシステム」において、現状技術を調査し、全体構成を提案した。

キーワード：ヘルスケア、GPSセンサ、3Dセンサ、PND、ZigBee

1. 緒言

現在の日本の医療体制では、発病後の検査・入院・治療が主な処置であり、そのため発病を避ける健康新規管理方法は、厚生労働省発行のパンフレットや地方自治体主催のセミナー、地域のカルチャーセンター等が教育普及の主体となってきた。ところが、高齢社会の進展とともに、特に高齢者の発病後の患者の保険医療費負担が国庫を圧迫する状況となり、「病気になってから治療する」とことよりも「病気にならないように日常生活での健康維持管理を行う」ことの重要性が経済的側面ばかりでなく高齢者ケアの側面からも認識されつつある。東北地方の中山間地は高齢化と過疎化が問題となっているため、本研究では普及しつつあるブロードバンドインフラを活用し、地域の高齢者にも易しく使える遠隔型健康福祉サービスを提案することとした。具体的には、各種センサで測定された生体情報や環境情報をメモリに記憶し、セキュアな通信手段を介して健康管理サーバに転送する身体装着可能なセンサシステムの基本設計を提示する。併せて、健康な高齢者が元気に活動することと

地域振興施策との連携の可能性についても検討することとした。

2. 次世代ヘルスケアシステム

2.1 ヘルスケアシステムの定義

対象者の日常活動を測定し、その生活習慣に対し適切なアドバイスを与えることにより正しい健康維持管理を実現するシステムを、ここでは「ヘルスケアシステム」と呼ぶこととする。

本ヘルスケアシステムの対象ユーザは、コンピュータ操作にあまり習熟していない65歳以上の高齢者で、現在は自由に外出できる程度に健康な状態にあるものとする。急病による容態の急変を予兆の段階で知る必要性から、小型センシングシステムは常時着用できる程度に小型軽量であり、形としては図1に示すように腕に装着する腕時計型や腰に下げる万歩計型が考えられる。

最初に、パソコンによってデータ管理可能なヘルスケアシステムについて要素技術を調査し、次世代ヘルスケアシステムのセンサ部(小型センシングシ

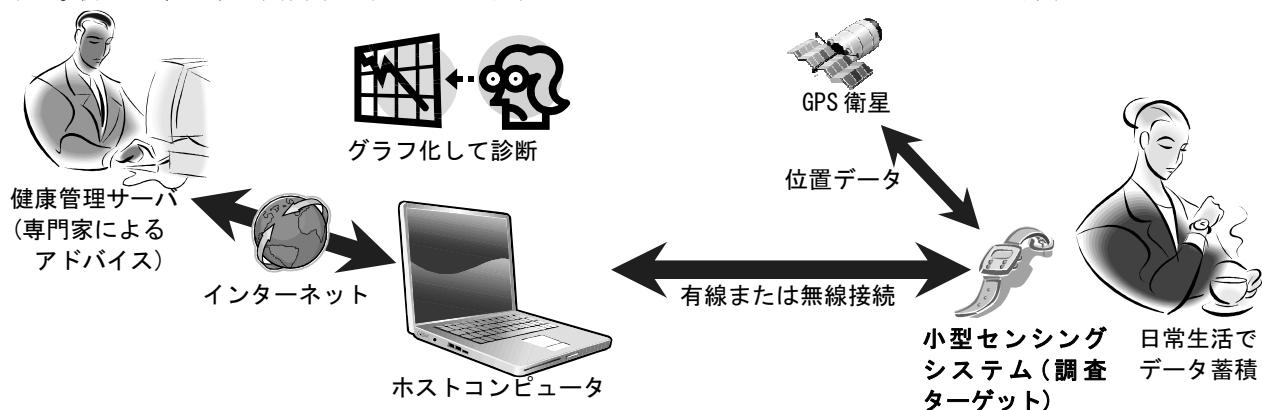


図1 ヘルスケアシステムの例

テム)について必要とされる目標仕様を検討し、次のように要求仕様としてまとめた。

形態:リストバンドまたは腕時計型

重量:100g未満

連続動作時間:350時間

センサ機能:体温(温度センサ)、加速度(3軸加速度センサ)、皮膚電位(A/Dコンバータ)、脈波(赤外線センサ)、位置(GPSセンサ)

プロセッサ:省電力モードを備えたプロセッサ、例えば(株)ルネサステクノロジ製16ビットシングルチップマイコン「H8/38602R」等

無線通信機能:IEEE802.15.4(ZigBee)方式

電源:リチウムイオン二次電池パック

2.2 消費電力について

次世代ヘルスケアシステムのセンサ部は、日常生活に違和感を生じない、即ち腕時計のように常時体に装着して使用するウェアラブルシステムであることが要求される。即ち、小型かつ軽量で1回の充電で長時間動作する必要があり、徹底した低消費電力化が要求仕様の第一となる。従って、ここでは低消費電力化を目標とした組込みシステム開発について調査した結果について報告する。

携帯情報機器で消費電力の大きな部分を占めるのはマイクロプロセッサ、外部通信機能および液晶表示装置であるといわれている。マイクロプロセッサは、センサ情報のA/D変換、信号解析、データのメモリ記録、タイマ処理、液晶表示機の制御、操作スイッチの制御等、多数のリアルタイム処理が要求される。従って、組込み機器用プロセッサの動作クロック周波数は数MHz以上に設定される。ところが、次世代ヘルスケアシステムがセンシング対象としているのは高齢者の運動と体調であり、100Hz未満のA/D変換サイクルでも精度良く測定できると思われる。一般に、プロセッサの消費電流は動作クロック周波数やクロック発振モードによって変化する。クロック周波数が高い方が消費電流は大きくなり、さらに供給する電源電圧が高い程消費電流が大きくなるため、許される性能の範囲内でできる限り動作クロック周波数を低くし、電源電圧を低くした方が消費電力を抑制することが可能である。特に、プロセッサによってはシステムクロックで動作する高速モードとシステムクロックを分周させたクロックで動作する中速モードを、機能として備えている場合があり、システムの動作速度上問題が無いのであれば、中速モードを選択することによつ

て消費電力を抑えることができる。

また、組込みソフトウェア開発において、極力無駄なコードを省いてプログラミングすると、低クロック動作でも高速な処理が可能になる。例えば、C言語よりアセンブリ言語を選択すれば、無駄な動作記述を極力省いた形でプログラミングが可能であり、特に繰り返しの多い処理部分の開発言語をアセンブリ言語に置き換えると、低消費電力と高速処理を両立させることが出来る。

さらに、現在市販されている汎用プロセッサには多数の内蔵周辺機能が含まれている。例えば、(株)ルネサステクノロジ社製16ビットマイクロプロセッサ H8/3069Fの内蔵周辺機能には、16ビットタイマ3ch、8ビットタイマ4ch、プログラマブルタイミングパターンコントローラ、ウォッチドッグタイマ、SCI(RS-232C)3ch、10ビットA/Dコンバータ8ch、8ビットD/Aコンバータ2ch等があり、これらの周辺モジュールの各々について動作／停止を設定できるモジュールスタンバイモードという機能も備えている。この機能を用いて不必要的機能をスタンバイモードにすることで無駄な消費電力を抑えることが可能となる。

より積極的な省電力化の手段としては、汎用のプロセッサでなく、必要な機能のみ限定してカスタマイズしたFPGA上のソフトコアプロセッサを使用する方法もある。この手法により、消費電力を従来のプロセッサに比べ約1/3に低減した事例がある¹⁾。

低消費電力を実現するには、「不要な電力を省く」、「許容される範囲内で必要な電力を極力低減させる」ことが重要であり、そういった点で前記のような様々な工夫が考えられる。例えば、(株)日立製作所では組込みシステムのスタンバイ時の消費電流を1 μA以下とする「フローズンスタンバイ」技術を開発した。これは従来の携帯電話のスタンバイ電流より2～3桁低い値である。この技術の導入により開発したセンサネット情報システム「日立AirSense™」²⁾では、ポータブル型無線センサノードと基地局間の非対称な無線通信において、センサノード側での無線の待ち受け時に電力をほとんど消費すること無しに双方向通信を実現している。このセンサノードからは設置場所の温度、湿度、振動等のデータを10分間に1回の割合で計測し、無線発信しているが、ボタン電池(CR123A)1個で約4年間、メンテナンスフリーで動作することとなっており、その省電力化技術は注目に値する。

2.3 次世代ヘルスケアシステムの全体構成

構成部品について調査した結果から想定される次世代ヘルスケアシステムの全体構成を図2に示す。

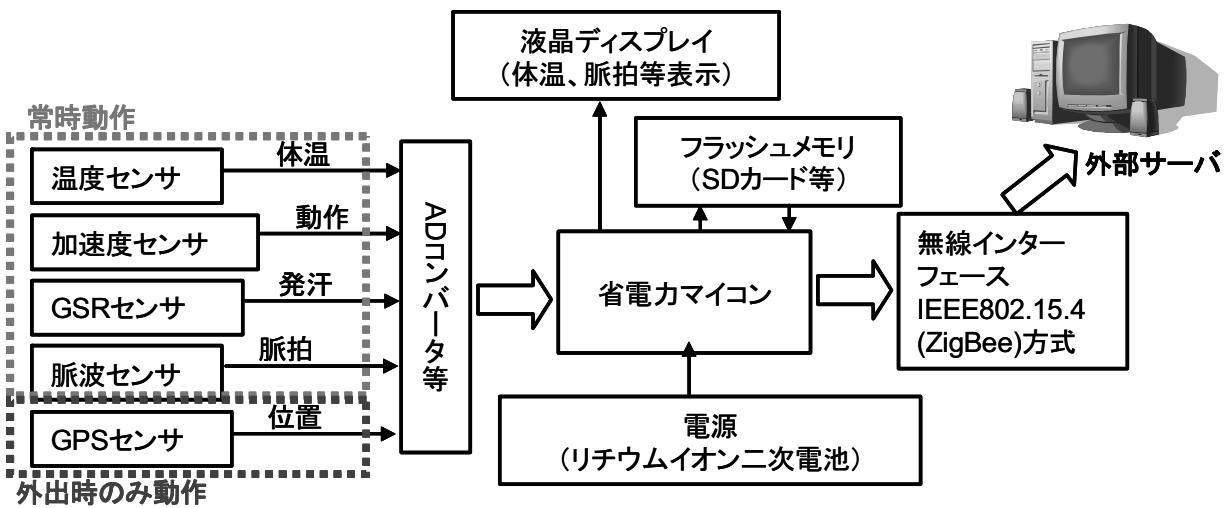


図2 ヘルスケアシステムの全体構成

システムの中心となるのは省電力性の高いマイクロプロセッサであり、電源はリチウムイオン二次電池から供給されるものとする。各種センサを搭載し、GPSセンサを除くセンサは常時駆動し、消費電力の大きいGPSセンサは外出時のみ動作する設定とする。センサデータはSDカード等の外部フラッシュメモリに書き込まれ、パソコンによりデータ管理できるものとする。装着者へのメッセージとして、体温、脈拍等を常時表示する液晶ディスプレイを備え、装着者の求めに応じて現状のデータを解析して適切な運動量を指示するメッセージを表示できるものとする。また、外部サーバとの通信は、消費電力の少ない近距離無線データ通信方式であるZigBee方式を採用するものとする。

搭載OSは、液晶ディスプレイへの表示において、グラフィックを重視するのであればWindowsCEか組込みLinux、テキスト表示のみであればITRON仕様リアルタイムOSを搭載することが薦められる。前二者はグラフィック用の各種ライブラリが用意されており、カラー画像表示が簡単に実現できる反面、データ処理量が多いため高性能プロセッサが要求され、必然的に消費電力が大きくなる。後者は、グラフィック用ライブラリは用意されていないため、基本的にテキストのみの表示となるが、消費電力の少ないプロセッサに向いたOSであると言える。

3. 地域振興との連携について

次世代ヘルスケアシステムは製品単体で完結する商品ではなく、システムを支える医療・福祉等の周辺機関サービスが不可欠である。さらに、本事業のキーワードの一つである「地域振興」を実現するのであれ

ば、近郊の公民館・博物館・図書館等の各種公共文化機関、デパート・スーパー・コンビニエンスストア等の販売施設、温泉・映画館・劇場・スポーツ施設等の娯楽施設との連携も重要であると思われる。そのような方向で活用できる機能を備えた製品をここでは紹介し、次世代ヘルスケアシステムへの採用を検討すべき機能として提案する。

紹介する製品は米国Garmin社製GPS搭載ポータブルナビゲーションシステムnuvi250+(図3参照)³⁾である。本製品は、一般にはPND(Personal Navigation Device)と呼ばれ、車載を前提としているが、バッテリも搭載しているため歩行時にも利用可能であり、フル充電時には4時間程度単独で動作する。サイズは高さ75mm×幅98mm×厚さ20mm、重量は148gであり、大きめの携帯電話程度であることから、日常生活で持ち歩くことには問題無い携帯性を実現している。

本製品は市場にある日本製の多機能車載ナビゲーションシステムと異なり、ナビゲーションに限定し



図3 米国 Garmin 社製 GPS 搭載ポータブルナビゲーションシステム nuvi250+



(a)関連施設検索画面

(b)施設指定画面(施設機能表示)

(c)地図表示

図4 nuvi250+の画面表示例

た機能しか備えておらず、画面解像度もSVGA(横320ドット×縦240ドット)で低いが、価格は数万円程度である。注目すべき点は、ポータブル型でありながら他の車載ナビゲーションシステムと同様に、近隣の施設を高速検索し現在位置から近い順に関係施設を表示する機能を備えている点である。その実例を画面画像で図4に示す。最初に検索方法指定画面で「現在地周辺」を指定し、図4(a)に示すように「学校」、「役所」等の施設ジャンルを指定した後に、具体的な施設名(ここでは「宮城県産業技術総合センター」)を指定する。次に、図4(b)に示すように施設の住所、電話番号を確認する。さらに、図4(c)に示すように地図を表示して場所を確認した後に、「出発」キーを押してナビゲーションがスタートする。このように装着者に興味のある近隣の施設を紹介し、そこに効率的に導いて施設活用を促進することは、「地域振興」に直結する機能と言える。特に、nuvi250+は表示情報をカスタマイズすることが可能であり、図4(b)に示すように施設紹介画面に、その施設の機能、由来、利用方法等を示せば、装着者が必要とする情報提供機能を付加することができる。

このように、次世代ヘルスケアシステムが、装着者の健康データ取得のみならず、現在位置周辺の各種情報を装着者に提供することで持ち歩く楽しみを実現できれば、普及が促進するとともに「地域振興」に大きな貢献ができるのではないかと思われる。さらに、地方自治体が本システムを利用して住民向けに各種情報を提供することができれば、住民サービスの新たな展開が期待できる。

4. 結言

パソコンによってデータ管理可能な次世代ヘルスケアシステムについて、現状技術を調査し、システムの全体構成を提案した。

本事業における2年間の活動では、健康・福祉関連各種展示会で次世代ヘルスケアシステムに関わる調査を行ったが、平成19年度に比べ平成20年度は関連商品、各種サービスが激増したという印象を持ち、高齢社会の進行に伴う健康管理機器の市場ニーズの高まりを実感した。今後は、本事業から入手できた情報を基礎として健康機器関連各種センサの組込み機器への導入を検討したい。

本研究は、平成19～20年度総務省戦略的情報通信研究開発推進制度(略称:SCOPE、研究代表者:富樫 敦教授(宮城大学事業構想学部))により実施したものである。

参考文献

- 1)小澤他:「腕時計型行動記録識別計の低消費電力化に関する一検討」、平成17年度電子情報通信学会ソサイエティ大会、A-4-12
- 2)「人の動きや脈拍などのデータを24時間連続して測定・記録可能なリストバンド型の無線センサ日立AirSense™エントリー モデル02 Plusを発売」、株式会社日立製作所ホームページより、
<http://www.hitachi.co.jp/New/cnews/month/2008/02/0214a.html>
- 3)「Garmin社製PND nuvi250+ カタログおよびマニュアル」、(株)いいよねっとホームページより、
<http://www.iijo.net/products/nuvi250plus/index.htm>

缶かまぼこ汚染菌叢の解析と乳酸菌による保存性向上の可能性

石川潤一*・橋本建哉*・川井 泰**・齋藤忠夫**・矢口 仁*

*食品バイオ技術部 **東北大学大学院農学研究科

缶かまぼこは、魚介類のすり身を主原料としており、タンパク質が豊富であるため、細菌の良好な生育環境となり、「ネト」等の腐敗を発生させ、商品価値の低下と賞味期限の短縮要因となっている。本研究では、缶かまぼこの主要な腐敗菌種の単離と同定を行い、それら汚染菌に対する乳酸菌のバクテリオシンによる抗菌効果を試験し、乳酸菌による保存性向上の可能性について検討した。その結果、複数の乳酸菌を組み合わせて用いることにより、汚染菌の活動を抑制できる可能性が明らかとなつた。

キーワード：かまぼこ、乳酸菌、バクテリオシン、PCR-RAPD、Agar Well Diffusion、16S rDNA

1. 緒言

宮城県において、水産練り製品は水産加工分野の主要な産業のひとつである。その中でも「缶かまぼこ」は全国的にも知られた特産品であり、仙台・宮城のお土産品として、極めて人気が高い。かまぼこ等の水産練り製品では、しばしば細菌の活動により「ネト」と呼ばれる多糖類が生成され、無毒ではあるが商品価値を著しく低下させる原因のひとつになっている。水産練り製品において、その日持ちを向上させることは、販売圏および販売形態の拡大につながり、生産出荷額の向上にもつながると考えられる。

乳酸菌の作るバクテリオシンについては、これまでに様々な研究が行われており、ナイシンについては世界各国で食品添加物としての利用が広がっている。ナイシンは、2009年3月2日付でわが国でもその使用が認められたが、使用可能な食品はチーズ、ホップクリーム等に限られ、水産加工食品への使用は認められていない。しかしながら、バクテリオシンであるナイシンが認可されたことにより、今後、ナイシン使用可能食品の拡大、他の有用な新規バクテリオシンの認可などの期待は大きい。

本研究では、缶かまぼこの「ネト」の原因となる多糖生産菌や腐敗菌を調査し、各菌種を明らかにするとともに、それら原因菌に対して効果のあるバクテリオシンを探査し、産生菌種について同定を行うことを目的とした。

2. 材料と方法

2.1 缶かまぼこの原材料とpH調査

市販の缶かまぼこの原材料表示を調査の後開封し、食品測定用電極(HORIBA社6252-10D型)を用いて缶かまぼこに穿刺する方法で組織pHを測定した。穿刺する場所を変えて4回測定し、平均値を求めた。

2.2 缶かまぼこ腐敗菌叢の調査

2.2.1 腐敗菌の分離

市販のかまぼこを無菌的に開封し、シャーレにそれぞれ保存した後、水分が蒸発しないように密閉し、20°Cでおよそ1週間静置した。腐敗した缶かまぼこの例を図1に示した。状態に変化が見られたサンプルは表面をディスポーザブルの白金耳でぬぐい、10ppmシクロヘキシドを添加したTryptic Soy(TS)寒天培地(Difco社)に塗抹し、20°C好気条件下48時間培養により、汚染菌の単コロニーを得た。また、1週間の放置で変化の見られなかったサンプルと、任意に抽出した10サンプルについては、かまぼこ重量の10倍重量のMaximum Recovery 希釀液(0.85% NaCl + 0.1%ペプトン)を加え、BagMixer400(interscience社)

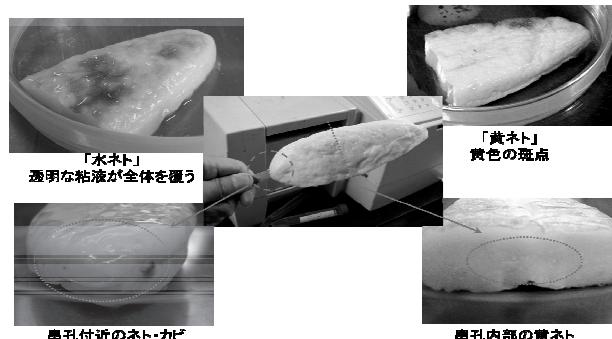


図1 缶かまぼこ腐敗の様子(20°C, 1週間)

により120秒間ストマッキングした。それらのサンプルを 10^{-7} まで段階希釈し、10ppmシクロヘキシドを添加したTS寒天培地に塗抹し、20°C、好気条件で培養し単コロニーを得た。

2.2.2 PCRを応用したランダム増幅多型DNA(random amplified polymorphic DNA; RAPD)法による単離菌体の重複排除^{1),3)}

Random primerは、表1に示したものとを単独または複数組み合わせて、それぞれ0.2 μMで用いた。Taq polymerase、Taqバッファー、dNTP mixtureはExTaqキット(TaKaRa社)を規定量用い、Master Mixtureとした。菌体を滅菌蒸留水に懸濁したものをそれぞれ2 μl Master Mixtureに加えて50 μlとしたものをPCRに供した。PCRサーマルサイクラーはiCycler Ver.3.021(BIO RAD社)を用いた。サイクル反応はホットスタート法で行い、I[94°C 2分] × 1サイクル、II[94°C 2分、36°C 5分、72°C 5分] × 5サイクル、III[94°C 1分、36°C 1分、72°C 1分] × 30サイクルとした²⁾。PCR産物は1.5%アガロースゲルを用い、1×TBEバッファーで100V、40分間電気泳動した後、EtBrにより染色し、トランスイルミネーター(東洋紡社)で観察した。

表1 random primer¹⁾

primer	sequence (5'-3')	G+C (%)
(1) P1254	CCGCAGCCAA	70
(2) P1281	AACGCGCAAC	60
(3) P1252	GCGGAAATAG	50
(4) P1280	GAGGACAAAG	50
(5) P1249	CGAACTAGAC	50
(6) P1011	GTAGACAAGC	50

2.3 抗菌性乳酸菌の選抜

2.3.1 抗菌活性試験

当所で保有している乳酸菌株およそ200株について、抗菌活性の有無を調査した。各菌株をMRS broth(Difco社)を用いて30°Cで24時間培養後、遠心分離(3000rpm, 4°C, 10分間)し、上清部を孔径0.2 μmの親水性メンブランフィルターを用いてろ過滅菌した。このろ液について寒天拡散(agar well diffusion; AWD)法により抗菌活性を測定した。指標菌として*Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* JCM1002^Tを用いた。陰性対照として0.85%NaCl溶液を、陽性対照として*Lactobacillus gasseri* LA39株(ガセリシンA産生株)の培養上清を用いた。抗菌活性の調査例を図2に示した。

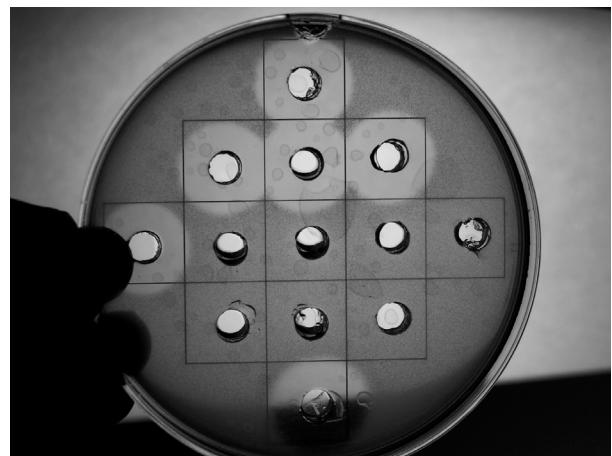


図2 AWD法による抗菌活性測定、生育阻止円形成の有無により抗菌活性を判断

2.4 汚染菌および乳酸菌の菌種同定

2.4.1 塩化ベンジル法によるDNA抽出^{4),5)}

対象となる菌株は、MRS Broth 5mlまたはTS Broth 5mlにて30°Cで24時間培養した。培養液を遠心分離(3000rpm, 4°C, 10分間)し、上清を除去した後、10mlの生理食塩水を加え、同様に遠心分離(3000rpm, 4°C, 10分間)し上清を除去した。1.5ml容量のマイクロチューブに菌体を採取し、150 μlの抽出緩衝液(100mM Tris-HCl, pH9.0, 40mM EDTAと10% SDSを1:5の容量比で混合したもの)、75 μl塩化ベンジルを加え、50°Cで30分間加温保持した。75 μlの3M酢酸ナトリウム溶液(pH5.3)を加え、氷中に15分間静置後、遠心分離(14000rpm, 4°C, 10分間)し、上清を新たなチューブに移した。定法に従いイソプロパノール沈殿、エタノール洗浄を行い、得られたDNAを100 μlのTE緩衝液(pH8.0)に溶解した。

2.4.2 16S rDNAのPCRによる増幅とDNAシークエンスによる菌種同定

16S rDNA全領域を増幅するために、表2のprimerを用いた。Taq polymerase、Taqバッファー、dNTP mixtureはExTaqキット(TaKaRa社)を規定量用い、Master Mixtureとした。塩化ベンジル法により抽出したDNAのTE溶液を鋳型として1 μlを用い、Master Mixtureおよび蒸留水にて50 μlとしたものをPCRに供した。PCRにはiCycler Ver.3.021(BIO RAD社)を用いた。サイクル反応はホットスタート法で行い、I[94.0°C 2分] × 1サイクル、II[94.0°C 20秒、55.5°C 40秒、72.0°C 100秒] × 30サイクルとした。PCR産物は0.8%アガロースゲルを用い、1×TBEバッファーで50V、90分間電気泳動した後、EtBrにより染色し、トランスイ

ルミネーター(東洋紡社)で確認した。得られたPCR産物はMicroSpin™ S-400HR(GEヘルスケア社)を用いて精製、またはアガロースゲルから切り出して、SUPREC™-01(TaKaRa社)を用いて抽出後、エタノール沈殿、ついでエタノール洗浄を行い精製した。

精製サンプルは、Operon社のDNA解析サービスにより表2の8F primerを用いて解析した。得られた塩基対のデータは16S rDNAの先頭から500bp～700bp程度であった。塩基対のデータをBLAST検索に供し、相同性を検討することにより細菌の属種を同定した。

表2 シークエンス用primer

primer	sequence (5'-3')	文献
8F	AGAGTTTGATCCTGGCTCAG	6
1540R	AAGGAGGTGATCCAGCC	7

3. 実験結果および考察

3.1 缶かまぼこの原材料とpH値調査

缶かまぼこの原材料とpH値の調査のために、仙台市内の量販店およびかまぼこメーカーの直販店から缶かまぼこを購入した。宮城県で製造されたものを中心、17社28サンプルを取得した。

原材料は魚肉(すり身)でタラ、スケソウダラ、キチジおよびグチが広く用いられており、高級贈答用ではタイやキンキを用いているものもあった。また、副原料としては食塩、砂糖、卵白、澱粉および調味料等が用いられていた。保存料は収集したサンプルのおよそ半数で用いられており、高級贈答用のものでその使用率が高い傾向にあった。贈答用は主として手土産として各地に持ち運ばれ、常温に近い温度にさらされる可能性が高いと考えられる。ゆえに、保存性を向上させる目的で保存料が添加されているものが多いと考えられる。

サンプルの缶かまぼこを開封して、pH値を測定すると、最もpH値の低いもので6.49、高いもので7.40であり、缶かまぼこのpHは中性領域にあることが判明した。以上の原材料とpH調査から、保存料の添加されていない缶かまぼこは、微生物が活動しやすい環境であることが推察できる。

3.2 缶かまぼこからの汚染菌の分離

1週間放置した缶かまぼこにはネトが発生しているもの、黄色い斑点が出現したもの等の目視で汚染と確認できるものがあった。これらを培養し、単コロニー

を拾うことで計110株の汚染菌を得た。

3.3 PCR-RAPD法による重複の排除と属種の同定

取得した汚染菌株群の重複を排除するためにPCR-RAPD法による重複判定を行った。得られた泳動パターンの一例を図3に示した。PCR-RAPD法の原理により、試験に供した菌株が同じDNAを持つ株であるならば、DNAの電気泳動パターンが同じになると想われる³⁾。PCR条件を考慮して200bp-2000bp程度までのパターンを比較して重複・独立を判定した。これにより取得した汚染菌110株から41株の独立した汚染菌株を取得することができた。

重複を排除した菌株からDNAを抽出し、16S rDNAのシークエンスを行い、属種を同定した結果を表3に示した。これにより缶かまぼこ汚染菌叢が明らかになった。

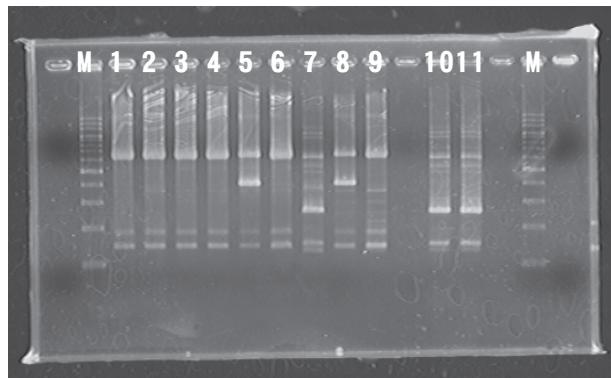


図3 プライマーP1254を用いたPCR-RAPD電気泳動パターン例、マーカーは200bp DNA Ladder (TaKaRa社)、重複菌株は(1,2,3,4,6)(5,8)(10,11)

表3 同定された缶かまぼこ汚染菌

Gram positive group	Gram negative group
<i>Bacillus cereus</i>	<i>Alcaligenes sp.</i>
<i>Bacillus fusiformis</i>	<i>Serratia marcescens</i>
<i>Bacillus subtilis</i>	<i>Pseudomonas sp.</i>
<i>Bacillus sp.</i>	
<i>Brachybacterium nesterenkovii</i>	
<i>Carnobacterium maltaromaticum</i>	
<i>Carnobacterium sp.</i>	
<i>Corynebacterium flavescent</i>	
<i>Enterococcus faecalis</i>	
<i>Kocuria rhizophila</i>	
<i>Kocuria sp.</i>	
<i>Leuconostoc citreum</i>	
<i>Leuconostoc sp.</i>	
<i>Psychrobacter arenosus</i>	
<i>Psychrobacter sp.</i>	
<i>Rothia sp.</i>	
<i>Staphylococcus equorum</i>	
<i>Staphylococcus sp.</i>	

3.4 抗菌活性試験

L. delbrueckii subsp. *bulgaricus* JCM1002^T を指標菌としたAWD法により抗菌活性の認められた乳酸菌について、3.3で明らかになった汚染菌群のうち、グラム陽性の細菌に対する抗菌活性をAWD法により判定し、代表的な結果を表4に示した。抗菌活性が確認された乳酸菌、つまり、バクテリオシン生産性の乳酸菌でも、汚染菌の種類に依っては抗菌活性を示さないことが分かる。また、*L. gasseri* LA39の抗菌活性の幅(抗菌スペクトル)は広く、*Bacillus*属、*Staphylococcus*属および*Enterococcus*属に対して抗菌性のあることが分かった。缶かまぼこの汚染菌は表3の通り、その属種は多岐にわたるため、1種類のバクテリオシンで完全な抗菌効果を得ることは難しい。ゆえに複数のバクテリオシンを組み合わせることで、汚染菌の増殖を抑制できると考えられる。今後も乳酸菌の抗菌活性および抗菌スペクトルの調査を進めていく予定である。

表4 汚染菌に対する乳酸菌の抗菌活性

	抗菌性乳酸菌株						
	<i>Bacillus</i> sp. C107	<i>Staphylococcus</i> sp.C88	<i>Leuconostoc citreum</i> C10	<i>Enterococcus faecalis</i> C41	<i>Pediococcus pentosaceus</i> LH12	<i>Pediococcus acidilactici</i> LH129	<i>Leuconostoc citreum</i> LH133
<i>Bacillus</i> sp. C107	+	-	-	-	-	-	-
<i>Staphylococcus</i> sp.C88	+	-	+	-	-	-	-
<i>Leuconostoc citreum</i> C10	-	-	-	-	-	-	+
<i>Enterococcus faecalis</i> C41	+	+	-	-	-	-	-
<i>Lactobacillus gasseri</i> LA39	-	-	-	-	-	-	-

(+ : 抗菌活性あり、- : 抗菌活性なし)

4. 結言

缶かまぼこから汚染の原因となる菌を分離・解析し、それらに対して乳酸菌の抗菌活性を試験することにより、次の結論を得た。

- (1) 分子生物学的手法を用いて缶かまぼこの主要汚染菌叢の解析を行い、属種の同定に成功した。
- (2) 缶かまぼこの汚染菌に対して乳酸菌の抗菌活性試験を行い、複数の乳酸菌を用いることで、汚染菌の活動を抑制できる可能性が見出された。
- (3) 乳酸菌の抗菌活性を利用することにより水産練り

製品の保存性向上の可能性が示唆された。

参考文献

- 1) Natalia Akopyanz, Nickolai O.Bukanov, T.Ulf Westblom, Stephen Kresovich, and Douglas E.Berg : Nuc. Acids Res., **20**(1992), p.5137-5142
- 2) Williams, J. G. K., Kubelik, A. R., Livak, K. J., Rafalski, J. A. and Tingey,S. V.: Nuc. Acids Res., **18**(1990), p.6531-6535
- 3) 細野明義、岡田早苗、司城不二 監修 内田健治、岡田早苗、齋藤忠夫、元島英雅、渡辺幸一ら:乳酸菌・ビフィズス菌の取り扱いマニュアル(2003), p93-94
- 4) Heng Zhu, Feng Qu and Li-Huang Zhu : Nuc. Acids Res., **21**(1993), p5279-5280
- 5) Mayumi Taiyoji, Akira Ando, Jun Shima : Rep. Nat'l. Food Res. Inst, **70**(2006), p23-28
- 6) C. Melissa Dobson, Harry Deneer, Sun Lee, Sean Hemmingsen, Sarah Glaze and Barry Ziola : Inter. Jour. Sys. Evolu. Microbiol., **52**(2002), p2003-2010
- 7) Rumi Sato, Jun Shima, Takuma Gamo and Shinichi Kawamoto : Rep. Nat'l. Food Res. Inst., **66**(2002), p9-14

平成20年度

宮城県産業技術総合センター研究報告 No.6(2008)

平成21年12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

再生紙を使用しています。



この印刷物は100部作成し1部当たりの印刷単価は180円（1円未満切捨）です。