

 TRI  
OSAKA

# 研究所報告

No.12 (1999. 1)

大阪府立産業技術総合研究所  
Technology Research Institute of Osaka Prefecture



## はじめに

研究所ご利用の皆様、関係各位の皆様には1998年度の「研究所報告」12号をお届けします。

今回の所報の技術報告は「高付加価値化生産技術」を特集しました。

昨今の厳しい経済環境に対応するため、どの企業においても新製品の開発をはじめさまざまな対策に取り組んでおります。その中でも製品の高付加価値化は最も重視すべき対策のひとつです。製品に高い付加価値を付けるには、デザイン化、生産技術の高度化、人件費などのコスト低減など多くの方法が考えられます。本特集では、当研究所で企業に対して技術指導・支援などで成果を挙げってきた生産技術を中心にまとめました。生産技術は、設計、加工、組立、検査・評価、管理技術など多くのものに分けることができますが、今回は、管理技術、加工技術および評価技術の各一編を報告します。管理技術では中小企業で高度な生産管理を進めるために欠かすことのできない情報化基盤の構築方法について、加工技術では化合物皮膜の機能強化法について被覆方法の工夫により大幅な機能強化を達成する方法を事例をもとに詳細に述べます。さらに評価技術では、切削加工技術の確立のために水晶圧電式切削動力計を用いてさまざまな切削性能を効果的に評価する方法について報告します。

続いての技術論文は、所員による研究成果をまとめたもので六編を掲載します。技術論文は、基礎研究的なものよりはできるだけ実用性が高く、また研究所として特色のある技術課題、企業の方にとって読んで面白いものを基本にして選定しました。

当研究所では学会への口頭発表や論文投稿をはじめ業界誌などへの解説論文等の掲載を積極的に推進しております。これらの他誌掲載論文42編、所内研究発表会のものも含めて口頭発表194編の概要一覧を最後にまとめております。

年一回の発行ではありますが、今後とも内容の充実に努めてまいりますので、ぜひ読者の皆様からのご意見・ご批判をいただければ幸いと存じます。

1999年1月

大阪府立産業技術総合研究所  
情報編集委員会



## 目 次

技術報告及び技術論文概要	1
--------------	---

### 技術報告

1. 高付加価値生産のための情報化基盤構築方法	吉野正紀	7
2. 反応性イオンプレーティング法における化合物皮膜の機能強化法	石神逸男・三浦健一・星野英光 水越朋之・浦谷文博・小川倉一	15
3. 水晶圧電式切削動力計による切削性能の評価	大山 博・北口嘉亮・藤原久一	27

### 技術論文

1. 綿粉末の銀コロイド処理と抗菌性	近藤 敬・高塚 正・上甲恭平	37
2. ジオシンセティック材料を用いた排水補強盛土工法	赤井智幸・松本 哲・玉井輝夫 嘉門雅史	41
3. 粉末液相成形法によるアルミニウム基複合材料の製造とその特性 (第2報) SiC粒子/6061アルミニウム合金複合材料への適用	宮田良雄・白川信彦・和田林良一	45
4. 沈澱法によるAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> 複合粉末の作製と焼結	久米秀樹・西川義人・稲村 偉 宮本大樹・加藤泰三・前田岳志	50
5. 間伐材の木炭化 (第2報) ー可搬型小型製炭システムを試作ー	表原靖男・入江年優・井本泰造 谷口正志・高橋弓弦・夏川一輝	55
6. ネットワークシステムとデータベースの設計 第3報 情報利用が容易な物品管理システムの開発	竹田裕紀・中辻秀和	60

### 他誌掲載論文等概要

1. 放電加工によるチタン合金の着色仕上げ	南 久・増井清徳・塚原秀和 萩野秀樹	67
2. 粉末液相成形法とその成形品の性状	宮田良雄・白川信彦・和田林良一	67
3. 低温プラズマおよび酵素処理羊毛の収縮性	田原 充・高塚 正・木村裕和 高岸 徹	67
4. Simultaneous Determination of Chromium(VI) and Chromium(III) by Capillary Electrophoresis	姫野貞之・中島陽一・佐野謙一	68
5. Morphology on the Surface of Wool Fibers Treated with Glow Discharge under Atmospheric Pressure	中島陽一・田原 充・木村裕和 高岸 徹	68
6. 羊毛クチクル分解酵素生産菌Bacillus cereus NS-11株の分離と分離菌の生産する酵素の性質	高塚 正・濱野米一・松浦 明 上甲恭平・木村和臣・宮本武明 荒井基夫	68
7. 大阪特産物の高品質化のための光学的評価技術の開発 ー繊維製品の抗菌性付与への適用ー	高塚 正	69
8. 私たちを取り巻く音環境について	片桐真子	69
9. パソコンネットワークを活用した在庫管理システムの開発事例	中辻秀和	70
10. パソコンネットワークによる生産管理と財務管理の統合システム開発事例	竹田裕紀	70

11. 大阪特産品の高品質化のための光学的評価技術の開発と応用 -光学評価技術、青果物への適用、繊維製品の抗菌性付与への適用-	森脇耕介・中谷幸太郎	70
12. 大阪特産物の高品質化のための光学的評価技術の開発 -光学評価技術の基礎-	中谷幸太郎・森脇耕介	71
13. 知って得するTCP/IPの基礎 1.TCP/IPをアナライズする -知って得するネットワーク診断ツール活用法-	石島 悌・林 治尚	71
14. 雰囲気制御における平衡論, 速度論的取り扱い	石神逸男	71
15. 内部中空粉末冶金部品の成形 -任意形状空間を内包する物品の製造-	花立有功	72
16. Strengthening of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> Composites by HIP Sintering	久米秀樹・西川義人・稲村 偉 宮本大樹・山部邦宏・前田武志	72
17. Combustion Synthesis of TiAl-Base Composite under High Pressure	垣辻 篤・宮本大樹・新宮秀夫 間瀬 博・津田 大・森井賢二	72
18. Sintering of Alumina/Zirconia Composite Powders Prepared by the Coprecipitation Technique	久米秀樹・西川義人・稲村 偉 宮本大樹・山部邦宏・前田岳志	73
19. 産業廃棄物としてのフェノール樹脂廃材の有効利用	広畑 健	73
20. 異方性エッチング液による薄膜の耐性	田中恒久・井上幸二・鈴木義彦	73
21. 反応性マグネトロンスパッタ法によるポリカーボネート上へのAlN薄膜の低温形成	岡本正彦・吉竹正明・小川倉一	74
22. マルチキャピラリー励起線源を用いた炭素薄膜形成	岡本昭夫 野坂俊紀 吉竹正明 小川倉一	74
23. Low-Temperature Thermometer Using Sputtered ZrN <sub>x</sub> Thin Film	四谷 任・吉竹正明・児玉隆雄	74
24. Infrared Radiation Detector with YBa <sub>2</sub> Cu <sub>3</sub> O <sub>x</sub> Thin Film	笥 芳治・四谷 任・日下忠興 鈴木義彦・小川倉一・妹川博文	75
25. Pt極薄膜の電気伝導へのガス種の影響	日置亜也子・岡本昭夫・夏川一輝 小川倉一	75
26. 液晶高分子の急縮小・急拡大流路内の流れの数値解析	吉川忠作・森 教安・中村喜代次	76
27. Rational Design for Stabilization and Optimum pH Shift of Serine Protease AprN	増井昭彦・藤原信明・山元和彦 高木昌宏・今中忠行	76
28. 写真フィルムリサイクルに適した酵素へのアルカリプロテアーゼの改変	増井昭彦・藤原信明	76
29. FRPにおける初期クリープ損傷の蓄積とそのAEによる評価	上野谷敏之	77
30. The Effect of Trialkyl Phosphites and Other Oil Additives on the Boundary Friction of Oxide Ceramics against Themselves and Metals	出水 敬・石垣博行・川本 信	77
31. 流動層によるオーステナイト球状黒鉛鑄鉄のほう化処理層及びその耐食, 耐摩耗性	上田順弘・曾根 匠・出水 敬 池永 明・川本 信	78
32. オートクレーブ腐食試験法によるプラスチック成形金型材の耐食性評価技術	上田順弘・佐藤幸弘・増井清徳 曾根 匠	78
33. 抗菌性に関連した繊維事故事例	浅澤英夫	78
34. 大阪特産物の高品質化のための光学的評価技術の開発 -繊維製品の抗菌性付与への適用、キトサン加工布の画像処理による評価-	浅澤英夫	79
35. 土-ジオテキスタイル-土の積層系における透水性と濾過性	西村太良・赤井智幸・柿花 治 嘉門雅史	79

36. ジオテキスタイルの話 (土木用繊維)	赤井智幸	80
37. Molecular Orbital Calculations for Tautomeric Naphtho-quinone with High Third-Order NLO Susceptibility	汐崎久芳・松岡 賢	80
38. 染色	中村 蔚	80
39. 加脂	佐藤恭司	80
40. 革製品の必要性能	倉田彰夫	81
41. 革と革製品の試験法と規格	奥村 章	81
42. 革製品の手入れと保管	稲次俊敬	81

口頭発表概要
--------

1. 単発放電における加工反力-液中と微小液滴中の比較-	○谷村 毅・他	85
2. イオン窒化による油中ワイヤ放電加工面の硬さ改善	○増井清徳・曾根 匠・出水 敬	85
3. 放電加工の原理と新分野への展開	○増井清徳	85
4. 放電加工を利用した金属表面改質	○増井清徳・曾根 匠・佐藤幸弘 出水 敬・南 久・塚原秀和	85
5. Coloring Method of Titanium Alloy by Using EDM Process	○増井清徳・南 久・塚原秀和 萩野秀樹・他	85
6. 放電加工によるチタン合金の着色仕上げ	○南 久・増井清徳・大山 博 北口嘉亮・塚原秀和	85
7. 放電加工によるチタン合金の着色仕上げ	○南 久・増井清徳・大山 博 北口嘉亮・塚原秀和	85
8. 放電加工によるチタン合金の着色仕上げ (第2報) -発色機構の解析-	○南 久・増井清徳・塚原秀和 萩野秀樹・他	85
9. 炭酸ガスレーザによるチタンの溶接	○萩野秀樹・野口修一・増井清徳	86
10. 炭酸ガスレーザによるチタンの溶接	○萩野秀樹・野口修一・北口嘉亮 大山 博・南 久・藤原久一 増井清徳	86
11. 押し込みによる脆性材料の延性/脆性遷移条件	○村田一夫・他	86
12. Ductile/Brittle Transition of Brittle Materials in Indentations	○村田一夫・他	86
13. 脆性材料の曲げ強度に及ぼす圧子押し込みの影響	村田一夫・○他	86
14. 砥石表面トポグラフィ-定量化のためのダイヤモンド 砥石のシミュレーション	○足立和俊・他	86
15. Study on Cause of Internal Damage of Drilled GFRP	北原洋爾・○他	86
16. Prediction of Damage Width in Laser Drilling of Printed Wiring Board Using FEM	北原洋爾・○他	86
17. 金属板材のヤング率に対する予ひずみと変形様式の影響	白川信彦・○他	87
18. 圧延ロールと鋼細線を工具としたアルミニウム板の溝付け加工	白川信彦・○他	87
19. チタン合金の温間鍛造についての検討	○白川信彦・和田林良一	87
20. 展開ブランクを用いた深い容器の成形 (第3報, しわ押さえ無しの場合)	白川信彦・○他	87
21. 有機酸高耐食性球状黒鉛鑄鉄の開発	○武村 守・橋堂 忠・佐藤幸弘	87
22. 有機酸水溶液中での球状黒鉛鑄鉄の耐食性改善	○武村 守・橋堂 忠・佐藤幸弘	87
23. プラズマおよび酵素処理羊毛の収縮性	○田原 充・木村裕和・他	87
24. パルスコロナを用いた羊毛織物の防縮加工	○田原 充・野澤繁夫・木村裕和 他	87

25. Scanning Electron Microscopic Observation on the Polyethylene Spherulites Treated by Low Temperature Plasma	○森田 均・木村裕和・他	88
26. モリブデン酸イオンによるCr(Ⅲ)・Cr(Ⅵ)の分離分析法の研究	○中島陽一・他	88
27. キャピラリー電気泳動によるCr(Ⅲ)及びCr(Ⅵ)の同時定量	○中島陽一・他	88
28. Covalent Coupling of Biopolymer to the Surface of Cotton Fiber	○上甲恭平・他	88
29. 綿繊維のキトサン加工	○上甲恭平・他	88
30. 羊毛編地の収縮挙動	○上甲恭平・他	88
31. 羊毛繊維系産業廃棄物の高度利用技術に関する研究	○上甲恭平・近藤 敬・高塚 正 菅井実夫・野澤繁夫	89
32. 劣化羊毛繊維の生物	○上甲恭平	89
33. 綿粉末の銀コロイド処理と抗菌性	○近藤 敬・上甲恭平・高塚 正	89
34. 綿繊維系産業廃棄物の高度利用技術に関する研究	○近藤 敬・上甲恭平・高塚 正 菅井実夫・野澤繁夫	89
35. パソコンでのネットワーク型生産管理システムにおける在庫管理 -金属印刷企業での開発例-	○中辻秀和	89
36. 単一ビーム・単パルスレーザー照射による金属蒸着フィルムへの虹色発色加工	○永田伍雄	89
37. 離散分光画像を用いた照明色変化を考慮した色物体認識	○森脇耕介	89
38. 離散分光画像を用いた照明色変化に対応した色物体認識	○森脇耕介	90
39. 離散分光画像を用いた照明光不変な色物体認識	○森脇耕介	90
40. レーザによるステンレス鋼への虹色発色加工	○永田伍雄	90
41. 地域産学官交流促進事業の概要と大阪府立産業技術総合研究所の取り組み	○中西 隆	90
42. 遠隔移動指導診断システムの技術および構成について	○袖岡孝好・中西 隆・石島 悌	90
43. シールド材料について	○藤島征雄	90
44. 大阪府産技研におけるインターネットの取り組みについて	○石島 悌	90
45. 遠隔移動指導診断システムの開発 -移動体通信を用いたモバイルネットワーク構築技術-	○石島 悌・袖岡孝好・中西 隆	90
46. ロボット研究開発の最近の動向	○朴 忠植	91
47. 段差をスムーズに越える車輪型移動体の開発	○大川裕蔵・浅岡武之・杉井春夫 谷口正志・朴忠植	91
48. 間伐材の有効利用に関する研究-木炭の処理温度と吸着特性について-	○入江年優・表原靖男・高橋弓弦 他	91
49. 予蒸発-予混合方式小型バーナのNO <sub>x</sub> 排出特性	○磯田 徹・東 忠宏・表原靖男	91
50. 公設試の役割と環境技術への取り組み	○宮内修平	91
51. 産技研における廃棄物の有効利用に関する研究	○井本泰造	91
52. 表面改質したMg系水素吸蔵合金の電気化学的キャラクターゼーション	藤田直也・○他	91
53. 異種金属で改質したMg <sub>2</sub> Ni合金の電気化学的キャラクターゼーション	藤田直也・○他	91
54. 振子型股関節シミュレーターの特徴について	○水越朋之・辻 栄治・他	92
55. イオンプレーティング法で形成させたチタン窒化物皮膜の膜厚管理に関する検討	○石神逸男・三浦健一・星野英光 上田順弘・浦谷文博	92



56. ガス浸炭を行ったS15CKの炭素濃度分布に関するシミュレーション結果の検証	○横山雄二郎・石神逸男・星野英光 浦谷文博	92
57. 反応性イオンプレーティング法による金属材料への化合物被覆ー被覆方法の工夫による皮膜の機能強化ー	○石神逸男・三浦健一・星野英光 浦谷文博・上田順弘	92
58. HCD法により形成したチタン窒化物皮膜の残留応力に関わる諸因子について	○三浦健一・石神逸男・星野英光 浦谷文博・上田順弘	92
59. Plasma Sintering of Nano-Composite Ceramics	宮本大樹・宮本 敬・他	92
60. Super-Fast Sintering of Transition-Alumina Phases with and without Alpha-Alumina Seeding	宮本大樹・宮本 敬・他	92
61. Spark Plasma Sintering of Nano-Composite Ceramics	宮本大樹・宮本 敬・他	93
62. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ZrO <sub>2</sub> 複合セラミックスのHIP焼結と機械的特性	○久米秀樹・西川義人・稲村 偉 宮本大樹・他	93
63. YAG分散Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 焼結体の作製	○久米秀樹・西川義人・稲村 偉 宮本大樹・他	93
64. Strengthening of Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -ZrO <sub>2</sub> Composite by HIP Sintering	○久米秀樹・西川義人・稲村 偉 宮本大樹・他	93
65. ナノ構造制御アルミナ系セラミックスのHIP処理と用途展開	○久米秀樹・西川義人・稲村 偉	93
66. Combustion Synthesis of TiAl-Base Composite under High Pressure	○垣辻 篤・宮本大樹・他	93
67. ミクロ組織制御による高強度・高信頼性セラミックスの作製	○宮本 敬・宮本大樹・他	93
68. ビーズミル法により微粒子化されたアルミナ-ジルコニア系セラミックス	○稲村 偉・西川義人・久米秀樹 宮本大樹・他	94
69. ナノ構造制御によるアルミナ-ジルコニア系セラミックスの高強度化	○稲村 偉	94
70. ジルコニア分散アルミナの高強度化	○西川義人・久米秀樹・稲村 偉 宮本大樹・他	94
71. 活性炭の低濃度NOの吸収特性	○森 正博	94
72. 炭素系吸着材による低濃度NOの吸着除去	○森 正博	94
73. 反応性スパッタCrO <sub>x</sub> 薄膜によるダイアフラム一体型高圧用圧力センサの開発	○鈴木義彦・野坂俊紀・小川倉一	94
74. 集積化センサ用バイポーラICの試作	○井上幸二・田中恒久・鈴木義彦	95
75. 片持ち梁型AEセンサの作製とその応用	○井上幸二・鈴木義彦・他	95
76. 異方性エッチング液による薄膜の耐性	○田中恒久・井上幸二・鈴木義彦	95
77. 金属薄膜の異方性エッチング液に対する耐性評価	○田中恒久・井上幸二・鈴木義彦	95
78. イオン・プラズマを用いたプラスチック材料表面上への高機能膜形成	○吉竹正明・他	95
79. マグネトロンスパッタ法によるポリカーボネート上へのAlN薄膜の低温形成	○吉竹正明・他	95
80. 高分子フィルム上への透明電磁波シールド膜の作成と特性	○吉竹正明	96
81. An Application of Multicapillary Excited Beam Source to Fabricate Nitrogen-Containing Carbon Thin Films	○岡本昭夫・吉竹正明・野坂俊紀 小川倉一	96
82. マルチキャピラリー励起線源を用いた炭素薄膜形成	○岡本昭夫・野坂俊紀・吉竹正明 小川倉一	96
83. マルチキャピラリー励起線源を用いた直接成膜装置とメタンを出発材料とした炭素系薄膜の作製	○岡本昭夫・野坂俊紀・吉竹正明 小川倉一	96

84. LaCaMnO薄膜の輸送特性	○四谷 任・日下忠興・寛 芳治	96
85. PLD法によるGMR薄膜の作製と物性	○四谷 任	96
86. PLD法によるLiNbO <sub>3</sub> 薄膜の作製	○寛 芳治・四谷 任・日下忠興 小川倉一	97
87. 高エネルギーマイクロイオンビーム複合分析装置によるRBS/PIXEの分析事例	○寛 芳治・四谷 任・吉竹正明 岡本昭夫	97
88. 不飽和ポリエステル樹脂の低温熱分解による分解生成物	○大西 均・木本正樹・浅尾勝哉 吉岡弥生・水谷 潔・奥村俊彦	97
89. プラスチック産業廃棄物の高度利用技術に関する研究	○大西 均・木本正樹・浅尾勝哉 吉岡弥生・水谷 潔・奥村俊彦	97
90. 熱可塑性ポリイミド/エポキシ樹脂混合系の硬化時における粘弾性挙動	○木本正樹	97
91. 熱可塑性ポリイミド/エポキシ樹脂混合系の硬化時における粘弾性挙動	○木本正樹	98
92. 熱可塑性ポリイミド/エポキシ樹脂混合系の硬化時における粘弾性挙動	○木本正樹	98
93. 不飽和ポリエステル樹脂の低温熱分解生成物を利用したポリマーアロイ化	○吉岡弥生・大西 均・水谷 潔 木本正樹・奥村俊彦	98
94. ポリイミド微粒子とエポキシ樹脂ブレンド物における力学的特性	○吉岡弥生・浅尾勝哉・木本正樹	98
95. 長鎖アルキル基を有するキナクリドン類のLB膜作成とその蛍光特性	○蔵本暢浩	98
96. キナクリドン顔料の真空蒸着膜作製とその光学特性	○蔵本暢浩	98
97. グラファイトで表面改質したMgNi合金の組成および微細構造	○蔵本暢浩・他	98
98. 導電性高分子膜を用いたガスセンサ	○櫻井芳昭・日置亜矢子・夏川一輝 小川倉一・他	98
99. A New Type of Gas Sensor Using Fullerene	○櫻井芳昭・野坂俊紀・夏川一輝 四谷 任・他	99
100. Pt極薄膜の電気伝導へのガス種の影響	○日置亜也子・岡本昭夫・夏川一輝 小川倉一	99
101. 新しい薄膜ガスセンサについて	○日置亜也子・岡本昭夫・夏川一輝 小川倉一	99
102. Pt極薄膜を用いたガスセンサの可能性	○日置亜也子・岡本昭夫・夏川一輝 小川倉一	99
103. Relationship between the Morphology and the Properties of LCP/Thermoplastic Resin Blends	○奥村俊彦・水谷 潔・他	99
104. LCP系ポリマーブレンドの衝撃特性とモルフォロジー	○奥村俊彦・水谷 潔・他	99
105. PC/LCPブレンド射出成形品の破壊挙動	○奥村俊彦・他	99
106. 好アルカリ性 Bacillus sp. B21-2由来のアルカリプロテアーゼの至適pHの改変と熱安定化	○増井昭彦・藤原信明・山元和彦 他	99
107. Thermoelastic Characterization on Damage Progress in Toughened Resin Carbon Fiber Fabric Composite	○上野谷敏之・他	100
108. 熱弾性解析による繊維CFRPの初期疲労損傷の検出	○上野谷敏之・他	100
109. 熱弾性解析による繊維強化複合材料積層板の応力場変化と内部損傷評価	○上野谷敏之	100
110. CFRPの破壊に及ぼすマトリックスの変成効果とAE特性	○上野谷敏之	100

111. 熱弾性イメージの高解像化による炭素繊維織物強化積層材料におけるメゾ的損傷状態の評価	○上野谷敏之・他	100
112. Fe-0.6C-1.5Si-0.8Mn鋼の切り欠きじん性に及ぼすオーステンパー条件の影響	森岡亮治郎・○他	100
113. 燃焼合成法を用いた鉄鋼材料と銅合金との接合	曾根 匠・○他	101
114. 長期暴露された銅板の腐食生成物の組成分析と構造解析	○山内尚彦・佐藤幸弘	101
115. チタンの放電加工による表面改質	○塚原秀和・南 久・増井清徳 出水 敬・曾根 匠	101
116. 放電加工によるチタン材の表面改質	○塚原秀和・南 久・出水 敬 増井清徳・曾根 匠	101
117. Surface Modification of Titanium Using EDM Process	○塚原秀和・南 久・増井清徳 出水 敬・曾根 匠	101
118. Tiの放電加工に及ぼす電極材の影響	○塚原秀和・南 久・増井清徳 出水 敬・曾根 匠	101
119. 連続鋳造用鋳型めっき皮膜の加熱による変化	森河 務・中出卓男・佐藤幸弘 横井昌幸・○他	101
120. 3価クロム浴からのCr-P-C合金めっき皮膜の電析	○中出卓男・森河 務・横井昌幸 佐藤幸弘	101
121. 新規透明TiO <sub>2</sub> 光触媒の調製法—構造と反応性	○波多野泰弘・他	101
122. イオン注入法による光触媒の製造と光触媒活性	○波多野泰弘・他	102
123. アルミドロスの有効利用に関する研究	○薦田俊策・岩崎和弥	102
124. Report on Japanese Fiber Bind Experiment —Determination of the Weight Loss of Cut Pile Carpets Made on an Experimental Basis—	○木村裕和・信田尚孝・小河 宏 呼子嘉博	102
125. 低温プラズマ・酵素複合処理羊毛織物の防縮性	○木村裕和・田原 充・他	102
126. ジオシンセティック水平排水材を用いた粘性土補強盛土の挙動解析	赤井智幸・○他	102
127. 不織布の二軸力学特性	○松本 哲・他	102
128. GHD補強粘性土急勾配盛土実験（その5）	○赤井智幸・松本 哲・他	102
129. GHD補強粘性土急勾配盛土実験（その6）	赤井智幸・○他	103
130. 不織布の長期補強効果	○赤井智幸・松本 哲・他	103
131. GHD材の長期補強効果（その2）	赤井智幸・松本 哲・○他	103
132. Soft Clay Embankment Reinforced by GHDs	赤井智幸・○他	103
133. 幼児用タオルの開発	○赤坂長吉・杉本 猛・木村和臣	103
134. 耐水処理革の耐洗濯性について —洗浴中に添加した油剤の効果—	○佐藤恭司・稲次俊敬・他	103
135. クロム革の水分吸着や水分透過に及ぼす二、三の耐水処理剤の影響	佐藤恭司・稲次俊敬・○他	103
136. ポリシラン/チタニルフタロシアニン積層膜における消色反応	○汐崎久芳・櫻井芳昭・他	103
137. コロイダルシリカの皮革に対する再鞣効果	○奥村 章	104
138. 耐水処理が革の染色堅牢度に及ぼす影響	○稲次俊敬・佐藤恭司・他	104
139. 生地構成要素からみた紳士服表素材情報のデータベース化	○澤田高弘・増田敏男・馬淵伸明	104
140. 炭酸ガスレーザによるチタンの溶接	○萩野秀樹・野口修一・増井清徳 北口嘉亮・大山 博・南 久 藤原久一	104

141. 水および含水試料の電子顕微鏡観察	○森田 均	104
142. 超精密加工における熱の影響	○山口勝己・村田一夫・足立和俊	104
143. 各種材料の超精密切削加工精度	○村田一夫・山口勝己・足立和俊	105
144. 抗菌性綿粉末およびセルロースビーズの作製	○近藤 敬・上甲恭平・高塚 正 菅井実夫・野澤繁夫	105
145. 抗菌評価技術および製品開発指導事例	○高塚 正・上甲恭平・近藤 敬	105
146. 綿繊維の表面活性化技術を用いたキトサン加工	○上甲恭平・高塚 正・浅澤英夫 野澤繁夫・森脇耕介・中谷幸太郎	105
147. 消臭セルロース/ケラチン顆粒の作製	○上甲恭平・近藤 敬・高塚 正 菅井実夫・野澤繁夫	105
148. 麻も中性条件下で柔らかく！－修飾セルラーゼによる加工例－	○菅井実夫・上甲恭平・他	
149. インナーウェア着用による形態変化と3次元形状解析	○山本貴則・石倉信作	105
150. 脳波解析による製品機能評価	○石倉信作・山本貴則	106
151. サーモグラフィによる廃棄物処分場の地下発熱区域探索	○石倉信作・薦田俊策・他	106
152. 粉末液相成形法とその成形品の性状	○宮田良雄・白川信彦・和田林良一	106
153. チタン合金鍛造プロセスの検討	○和田林良一・北原洋爾・太田 隆 宮田良雄・木下俊行・白川信彦	106
154. 土中埋設環境における高耐食性球状黒鉛鋳鉄の開発 －スズ・銅添加による耐食性の改善－	○武村 守・橘堂忠・佐藤幸弘	106
155. 計測制御のための機器組込コンピュータ用ロボット言語 の活用事例	○杉井春夫・大川裕蔵	106
156. 窯業系サイディング材の有効利用	○岩崎和弥・宮内修平・井本泰造 佐藤幸弘・高橋弓弦・藤田直也	106
157. システム開発支援のためのビデオ映像の制作－聞き取り 技法について－	○根津 修・片桐真子	107
158. パソコンネットワークによる生産管理と財務管理の統合 システムの開発事例	○竹田裕紀・根津 修・吉田総夫 他	107
159. パソコンネットワークを活用した在庫管理システムの 開発事例	○中辻秀和・吉野正紀・他	107
160. 工場内のスピーカの適正配置診断法	○片桐真子・根津 修	107
161. 電子機器から発生する放射ノイズの低減対策	○松本元一・藤島征雄・田中健一郎 石島 悌	107
162. 多チャンネル化によるマルチメディア伝送技術の開発と 評価	○石島 悌・中西 隆・袖岡孝好	107
163. 電子機器に要求される安全構造	○村上義夫	107
164. 低NOx高負荷バーナの開発－減圧沸騰噴霧を利用した 液体の微粒化による低NOx化－	○磯田 徹・東 忠宏・表原靖男	108
165. 高速ビデオ画像のコンピュータ処理による高速移動体の 解析手法	○東 忠宏・根津 修・片桐真子	108
166. 間伐材木炭の有効利用	○表原靖男・入江年優・井本泰造 谷口正志・高橋弓弦・夏川一輝	108
167. プラスチック成形品の成形安定性比較	○奥村俊彦・吉川忠作	108
168. 各種炭素系吸着材による低濃度NOの吸着除去	○森 正博・高橋弓弦・広畑 健	108
169. 溶射皮膜のヤング率/内部摩擦測定装置を用いた評価 方法の検討	○足立振一郎	108
170. 各種溶射装置による金属溶射皮膜の酸素分析	○藤田直也・花立有功・足立振一郎	108

171. マグネシウム系水素吸蔵合金の透過電子顕微鏡による 微細構造の観察	藤井俊之・水越朋之・辻 栄治 ○藤田直也・森河 務・他	108
172. HCD-IP法により被覆したチタン窒化物皮膜に発生する 圧縮応力の制御とその応用	○三浦健一・石神逸男・星野英光 浦谷文博・上田順弘	109
173. HCD-IP法における高耐食性Ti-TiN積層膜の再現・作 製のための膜厚制御方法	○石神逸男・三浦健一・星野英光 浦谷文博・上田順弘	109
174. ガス浸炭に対する新しい解析システムの考案とその利用	○横山雄二郎・石神逸男・星野英光 浦谷文博	109
175. 不飽和ポリエステル樹脂の低温熱分解生成物およびその ポリマーアロイ化	○吉岡弥生・大西 均・木本正樹 浅尾勝哉・水谷 潔・奥村俊彦	109
176. レーザーアブレーション法によるLiNbO <sub>3</sub> 薄膜の作製	○日下忠興・笈 芳治・四谷 任	109
177. センサ用バイポーラICの試作	○田中恒久・井上幸二・鈴木義彦 他	109
178. 異方性エッチング液による金属薄膜のエッチング耐性に ついて	○鈴木義彦・田中恒久・井上幸二	109
179. 高エネルギーマイクロイオンビーム複合分析装置による 薄膜の分析 -PIXE法による測定-	○岡本昭夫・吉竹正明・笈 芳治	110
180. スパッタ法によるプラスチック材料への機能薄膜の低温 形成	○吉竹正明・岡本昭夫・他	110
181. 常磁性錯体の多核核磁気共鳴 (NMR) スペクトル	○日置亜也子・蔵本暢浩・夏川一輝 櫻井芳昭・他	110
182. ジオシンセティックスを用いた盛土の災害復旧	○松本 哲・赤井智幸・玉井輝夫	110
183. 水質機器分析による品質管理と環境水測定	○山崎 清・他	110
184. 様々な酸化チタン光触媒を用いた二酸化炭素の水による 還元固定化 -炭酸ガスの光合成的固定法の研究-	○波多野泰弘・他	110
185. 長期暴露された銅板の腐食生成物の分析	○山内尚彦・佐藤幸弘	110
186. 金属材料分析における装置と現状	○水野利昭	111
187. 赤外線領域のエネルギー移動の考察と計算	○水野利昭	111
188. 快適生活 (抗菌・防臭・消臭) 繊維関連製品に関する 事例紹介	○浅澤英夫	111
189. 複合サイクル腐食試験機による模擬酸性雨に対する材料 の腐食挙動について	○佐藤幸弘・横井昌幸・森河 務 中出卓男・山内尚彦	111
190. カーペットの汚れ試験・評価法に関する検討 -ISO型汚れ試験機による汚染挙動-	○小河 宏・呼子嘉博・木村裕和 信田尚孝	111
191. 繊維・高分子の静電気測定・帯電性評価技術	○木村裕和	111
192. 落下衝撃を想定した球状物集合体の衝撃応答に関する研究	○中嶋隆勝・寺岸義春・木下俊行	111
193. 輸送包装のための振動試験・衝撃試験	○中嶋隆勝	111
194. 高機能タオルにおける分析技術の確立	○住 好一	112

(○印は講演者, 他は職員以外の共同研究者)



## 技術報告及び技術論文概要

### 【技術報告】

#### 高付加価値生産のための情報化基盤構築方法

吉野 正紀

付加価値の高い製品を生み出すには、一般的に企画開発・加工製造技術が重視される。しかし、高付加価値化生産を達成するには、加工情報の迅速な発信・伝達、労働の質把握を可能にする実績情報のリアルタイム分析、あるいは工程内品質保証システムなど、受注から納品に至る高度な生産管理技術と、それを可能にする情報化基盤が欠かせない。生産管理の基本はモノと情報の流れの統合的な把握であるが、ここでは中小企業における高付加価値化生産のために、どのように情報化基盤を構築したらよいかについて、具体的な取り組み事例を交えながら考える。

#### 反応性イオンプレティング法における化合物皮膜の機能強化法

石神逸男 三浦健一 星野英光  
水越朋之 浦谷文博 小川倉一

化合物被覆による機能強化技術の開発においては、多くの場合、種々様々な化合物を被覆し、それらの適応性を評価・検討する方法がとられている。しかしながら、それらとはまったく異なる取り組み方、すなわち同じ化合物でも被覆方法を工夫することにより大幅な機能強化が達成できる。本稿ではその具体的事例とそこに至るまでの基本的な考え方を概説する。まずプロセス・パラメータと膜質の間に潜在する因子を特定し、それら因子とプロセス・パラメータの関係を明らかにする。次にそれらの関係を把握したうえでなお膜質制御が困難な理由を考察する。さらに皮膜とバルク材の基本的な相違点と共通点に言及し、最後にそれらをどのように取り扱うことで新たな被覆技術を開発し得たかを以下の各事例ごとに紹介する：(1)皮膜と基板の密着性向上、(2)膜面あらさの制御、(3)低温被覆、(4)多層被覆による耐食・耐摩耗性の改善、(5)高精度膜厚制御法とそれによる高耐食性多層膜の再現作製。

#### 水晶圧電式切削動力計による切削性能の評価

大山 博 北口嘉亮 藤原久一

効果的な切削とは、最適な切削工具で最適な切削条件により工作機械の能力を十分引き出すことである。しかし、切削加工では、多くの要因が絡み合い理論的な最適化は極めて困難である。そこで切削試験により、工具の選択、切削条件の確立などが行われている。

水晶圧電式切削動力計は、水晶の圧電効果や高い剛性を利用して、工具や被削材にかかる切削抵抗を測定するセンサーである。切削抵抗は、被削材、工具形状、切削条件、切削油、加工状況などの違いにより大きく変動する。

切削加工技術の確立には、多くの実験データと実際に効果の上昇した実績データを積み重ねて、信頼性の高い加工データに育て上げる必要がある。

## 【技術論文】

## 綿粉末の銀コロイド処理と抗菌性

近藤 敬 高塚 正 上甲恭平

日常生活において天然繊維素材の生活用品が多量に使用されており、とくに綿素材は多種にわたり固有の機能性が生かされている。われわれは綿粉末をより付加価値の高い機能化素材とするため、銀を吸着させた抗菌性粉末を作製する方法、並びにその粉末のかび抵抗性、抗菌性についても検討した。

銀を吸着させた粉末を作製する方法では、銀をコロイド微粒子として綿粉末に吸着させるとき微粒子を安定化させるため、界面活性剤に陽イオン性のものを用いると、銀が多く吸着されることがわかった。その銀吸着綿粉末は、黒こうじおよび青かびに対してがび抵抗性を有し、さらに黄色ぶどう球菌、肺炎かん菌および大腸菌に対して抗菌性を示すことがわかった

## ジオシンセティック材料を用いた排水補強盛土工法

赤井智幸 松本 哲 玉井輝夫  
嘉門雅史

近年、地盤中にジオシンセティック材料(土木用繊維・高分子資材)を導入し、その特徴を利用して地盤全体としての物性改良を図る「補強土工法」に著しい発展が見られる。当所では、ジオシンセティック材料の建設工事への積極的な適用を図るべく、平成7年度から産学官28機関・企業による中核的研究事業(委員長:嘉門雅史京都大学防災研究所教授)を実施し、ジオシンセティック材料の排水性を利用した、粘性土や建設発生土など性状の悪い盛土材料にも適用できる補強土工法の検討を進めてきた。ここではその成果である、補強機能と排水機能を兼ね備えた新しいタイプのジオシンセティック盛土補強材を用いた「排水補強盛土工法」について報告する。

粉末液相成形法によるアルミニウム基複合材料の製造とその特性  
第2報 SiC粒子/6061アルミニウム合金複合材料への適用

宮田良雄 白川信彦 和田林良一

粉末液相成形法とは、常温で予備成形した圧粉体をその液相線温度以上まで加熱して加工する方法で、特に粒子分散型複合材の製造方法として有効である。前報では純アルミニウム粉末に炭化珪素粒子を複合強化材として添加し、強化材の均一な分布と複合材の高密度化に対するこの加工法の有効性を明らかにした。本報ではAl-Mg-Si系の6061合金粉末と炭化珪素粉末に対して本法を適用し、高強度軽合金複合材料の製造を試み、その成形性と性状を調査した。

成形性は液相線温度以上で加圧すると、SiC粉末の添加量に関わらずほぼ理論密度に到達した。成形品の性状は、SiC粉末添加量の増加にともない抗張力、硬さは上昇し、伸び、限界張出し高さは低下した



## 沈澱法による Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub> 複合粉末の作製と焼結

久米 秀樹 西川義人 稲村 偉  
宮本大樹 加藤泰三 前田岳志

市販の低ソーダ易焼結性アルミナ粉末に、沈澱法を用いてジルコニア微粒子を分散させたジルコニア分散アルミナ複合粉末を作製した。この粉末を成形、常圧焼成、HIP 処理することにより焼結体を作製し、その機械的特性を評価した。常圧焼成(1873K)により得られた焼結体(ジルコニア分散量: 5wt%)の平均曲げ強度は 757MPa で、さらに HIP 処理を施すことにより、最高値が 1GPa を越えた。SEM による焼結体の破断面の観察ならびに TEM 観察により、ジルコニア量の増加とともに、アルミナマトリックスの結晶粒径が小さくなる傾向がわかり、特に、ジルコニア分散に沈澱法を用いた場合、ジルコニアがアルミナ結晶粒界に薄い板状の形態で存在することがわかった。このことが、少量のジルコニア量(5wt%)にもかかわらず、アルミナを大きく強化できる要因であると考えられる。

### 間伐材の木炭化(第2報)

#### — 可搬型小型製炭システムの試作 —

表原靖男 入江年優 井本泰造  
谷口正志 高橋弓弦 夏川一輝

製炭の基礎実験結果や種々の製炭炉の調査結果に基づき実用規模の小型製炭システムを試作した。製炭炉本体、木酢液回収装置、悪臭除去装置、排風機、計測装置で構成する製炭システムは、可搬型で天井部が上方へ開く構造になっているため木材の出し入れ等の作業性が良好であるとともに、排ガスの大気放出をなくしたため作業環境の向上が図れ、また運転条件も比較的簡単に制御できた。本製炭炉による実験結果から、木炭性状が製炭炉内のその部分の温度履歴により影響を受ける事を確認できた。この結果、炉内の温度管理を適正に行えば用途に適した性状の木炭を得ることが可能であることがわかった。

### ネットワークシステムとデータベースの設計

#### 第3報 情報利用が容易な物品管理システムの開発

竹田裕紀 中辻秀和

企業は主原料以外にさまざまな副資材など多くの物品を購入している。これらの管理はこれまでおおまかにやられていたが、経済不況の現今ではコスト低減のためにあらゆる購入物品のきちんとした管理が緊急の課題となっている。本報では約 2,000 種類の物品を使用している病院での物品管理システムの開発例をもとに、物品の在庫状況の随時の把握による過剰在庫の防止、計画的な購入と支給を行うための管理方法、それに適したデータベースの設計、蓄積情報の利用について報告する。



# 技 術 報 告



# 高付加価値生産のための情報化基盤構築方法

## *Method for Constructing Information Infrastructure for Value-Added Production System*

吉野 正紀\*

Masaki Yoshino

(1998年10月25日 受理)

キーワード：パソコン，情報化戦略，情報化基盤，情報化委員会，パソコン研修，システム開発  
企業情報データベース

### 1. はじめに

新規商品，既存商品の高付加価値化を目指して開発競争が繰り広げられているが，付加価値の高い工業製品を生産するために，生産・加工プロセスの中で必要な事項としては，

- ①新機能，独自性，希少性など，企画段階にかかわるもの
  - ②高性能，使いやすさ，軽薄短小化など，設計工程にかかわるもの
  - ③精度，高度な加工など，加工工程にかかわるもの
  - ④安定した品質を保証する検査工程にかかわるもの
  - ⑤納期，アフターサービスなど，顧客サービス体制にかかわるもの
- などに分類して考えることができる。

さらに，わが国では世界市場の中で日本製品の高い評価を定着させた重要な技術として，高品質と効率的生産を同時に実現した「日本の管理技術」が挙げられる。

米国は，日本の優れた管理技術と自国の高度な情報化技術を組み合わせ，徹底的によけいな手間を省くことで工業生産の高品質化を達成し，世界市場への復権を果たしたといわれているが，戦略的に情報化を進めてきた欧米に比べ，わが国では管理技術の高度化に不可欠な「情報化基盤の構築」の遅れが指摘されている。

ここでは情報化の現状について述べた後，企業における実施具体例を交えながら，高付加価値生産を達成するための情報化基盤の構築手法について述べる。

### 2. 情報化の現状

中小企業における情報化はパソコンを軸に進展しており，企業におけるパソコン導入率は80%を越えるものと推測される。経営者自身も含め，業務に表計算やワープロソフトを活用できる人材（エンドユーザ）が増えつつあり，ネットワークなど，より高度な情報化を求める要望も多い。厳しい経営環境の中にあつて，国内産業界における情報化は，まだら模様ではあるが着実に進展し，中小企業も企業情報化に真剣に取り組まざるを得ない状況になりつつある。

それはコンピュータが専門家の使う縁遠い存在から，パソコンの登場や標準化による互換性の高まりにより，身近な存在に変わったことで，より加速されている。企業内には表計算ソフトなどを使って集計やグラフ化などを自在にできる社員が増えており，これらの社員は必要な情報さえ用意してあれば，自分たちで自主的に加工して，業務の効率的な遂行を可能にしてしまう。そのため，大企業では，情報システム部門が特殊なシステム管理の専門家ではなく，全社員が利用しやすいように情報を管理し運営するための部門に変貌しつつある。

また従来，日本の大企業では経営者や中間管理者はあまりパソコンを使わず，一般社員が日常業務に使うという特徴があつたが，情報システムの目的が受注や売上などの基幹情報だけではなく，電子メールや電子掲示板などを使ったビジネスプロセスの高速化に移ってきたことで，経営管理職にもコンピュータネットワークを利用する人が増えてきた。さらにインターネットの急速な普及がこれらの動きに弾みをつけている。

中小企業が情報化に取り組む際には，まず経営者・経営陣がその重要性を認識し，陣頭指揮に立つ必要があるが，幸いなことに，従来大企業よりも低いと見られていた社員たちの情報化意識も高まってきている。情報化意識を調査するために，われわれが実施した府下企業2社

\* システム技術部 情報処理グループ

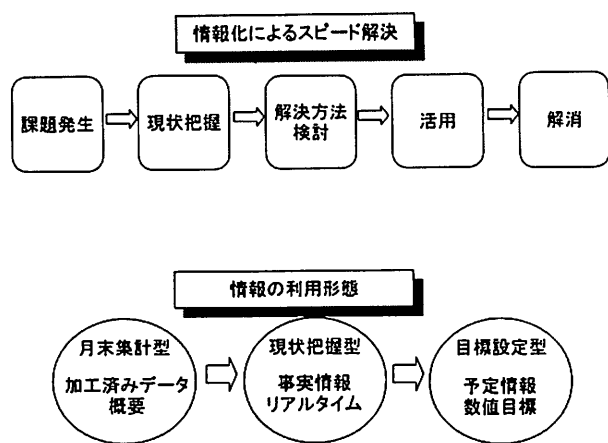


図5 情報の活用ステップ

プロジェクトチームを組ませ進めることが多いが、ここでひとつ注意しなければならないのは、その重要性にも関わらず、情報化を進めるための仕事はややもすると、社内では仕事に余裕のある社員によるボランティアや遊びと見なされる傾向があり、その努力に比して妥当な評価を受けることが少ないことである。それを避け、社員にやる気を出させてプロジェクトを成功させるには、まず経営者自らの理解と努力が必要であり、また社長自身が社員と一緒にそうした過程を経験することで、その企業が情報化時代を生き抜くための体質と基盤が同時に構築できることになる。「情報化」がモノ作りを変え、企業を変えと言われる理由である。

#### (1) 情報化委員会

われわれの経験では、社長あるいは役員をリーダーとし、社内から組織横断的に選抜したキーマン数人によるプロジェクト方式が情報化の推進に効果を挙げている。この場合は、将来会社を引っ張ってゆくであろう若手（二人ぐらいがよい）に事務局をさせるのと、社内で足りない部分はアウトソーシングすることが肝要である。

プロジェクトに参加したキーマンたちは、直接社長の経営に対する考え方を聞きながら、自分たちの業務の中で、何をすべきか考えることができる。一方、事務局の若手はプロジェクトをコーディネートすることで、会社を俯瞰的に見る視点を養いながら、経営層、管理者層、現場層の考え方を、具体的な形で捉えることになる。彼らはコンピュータやネットワークシステムを少し勉強することで、現場に精通し、全社的な情報の流れも理解できている人材に育つ可能性が高い。そうすればお任せではない自前の社内情報システム管理者が誕生することになる。これからの情報化では、社内人材の活用がひとつのポイントになると考えられる。

こうしたプロジェクト運営では、社長のリーダーシップが結果の是非を決定する。とくにヒトの少ない中小企

業では、部門長クラスが本来業務への影響を心配し、キーマンのプロジェクト派遣を躊躇するケースが多いからである。理由のひとつは、彼らが情報化を本来業務に関係のない、余計な仕事と見ていることで、それよりは明日の納期の方が気になるからである。しかし、そうした理由で部門長が問題を先送りし、課題が山積みになって非効率を引き起こしている例はいくらでもある。要するに情報化は会社の将来を左右しかねない要素を持っている、目先のことだけではないことを社長が部門長クラスに理解させることが大切である。経営層だけではなく管理層も勉強する必要があり、さらに現場層と一体となって取り組むことで、短期間で効率よく情報化基盤を構築することが可能になる。

金型製造業のK社の情報化委員会は定例会方式をとり、原則として週1回曜日を決めて開催する。運営には筆者らの情報処理研究グループが支援しているが、このようにシステム導入・運営に当たって外部から経営/技術コンサルタント的な支援があると失敗することが少ない。委員会は時間外の自主活動ではなく業務の一環として行い、委員長には情報収集などで社内全体に影響力を持つ役員かあるいは社長が就任する。K社では製造担当役員である工場長が委員長になり、各工程の課長クラス5名を委員に選任した。事務局は業務部の若手二人が担当している。委員会はマンネリに陥らないよう1年間を前期と後期に分け、委員は6カ月で交替する。活動は「開かれた委員会」を目指し、委員以外の直接担当者や社外の専門家も参加できるような柔軟な運営と各委員の人的ネットワークによる自主的な活動を奨励している。

最初は自分の部門の利害を代弁する立場に終始しがちな委員たちが、活動を続けるにつれ、お互いに他の部門の作業内容や考え方が理解できるようになり、少しずつ全社的な視点から議論に参加することができるようになる。とくに経理などの管理業務系と、現場である製造系の相互理解が深まる効果は大きく、営業、製造、品質管理など各部門間でも同様のことが言える。そのために運営に当たる事務局の責任は大きく、常に内容のある討論ができるような事前の準備が大切である。

また社内から委員会が特別な人間を集めたグループの活動と見なされないように活動状況を社内全体に知らせるようにし、社員全員を啓蒙していく努力を行う。そのために事務局が議事録を作成して活動内容を記録・整理し、重要なことがらは食堂掲示板や社内報などを通じてこまめに広報する。

さらに社員の情報化に対する理解を深めるために、活動内容を文書化し、報告書を作成すると同時に、全社員を対象にした活動報告会を年2回開催し、活動成果を全員が共有できるようにする。とくに報告会では委員とし

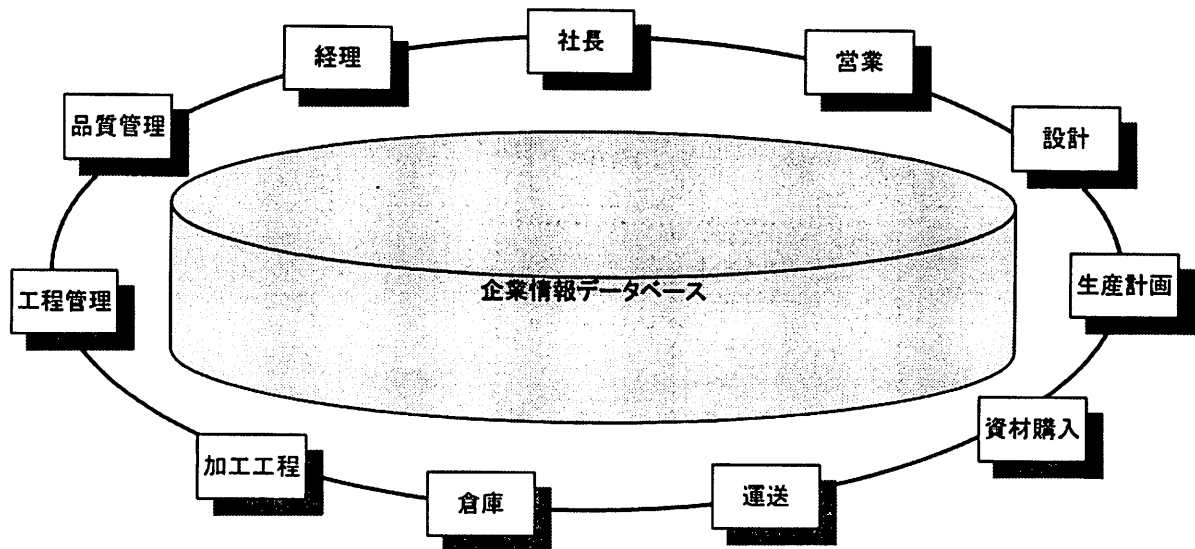


図6 一元化された企業情報データベース

て選任された課長クラスの研修を兼ねて、委員全員が自分の担当テーマについて発表するように義務づける。従業員全員の前でOHPなどを使って発表することは、発表テーマの社内的な位置づけを明確にし、自分の考えを相手にわかるように話す工夫が必要となるため、従来は作業員の延長上で単に腕のいい職人として仕事することの多い現場の課長クラスに管理者・教育者としての自覚を持ってもらう良い機会となる。

### (2) 企業情報データベース

「企業情報データベース」は企業の生産に関するさまざまな情報を一元的に蓄積・管理し、いつでも各担当社員が、自分の業務に必要な情報を取り出し、共通利用することが可能な「情報の流通倉庫」である。

図6に示すように、受注出荷情報だけではなく、設計の図面情報、自動加工機の制御プログラムのような生産技術情報、不良発生情報、品質管理情報、あるいは売上高のような財務情報まで、その企業における情報化の進展に応じて企業情報データベースの内容を検討すれば、全社員が情報を活用し、業務効率を上げるための基盤となる。

開示する情報項目の選択、承認に伴う情報の遅れ、情報の精度保証、セキュリティ確保など、構築、運用には解決すべき課題も多くあるが、ワークフローの整備作業と同時に検討すれば、短期間に構築することも可能である。

むしろ、情報を公開しながらない企業意識の改革や、指示情報を発信する管理者層へのパソコン研修など、人的情報化基盤構築のほうが難しい傾向にある。

### (3) パソコン研修

情報化基盤として、情報の電子化作業、つまりコンピ

ュータ化は欠かせない。受注出荷、作業指示、作業実績など、大量の情報を電子化する必要があるが、これを従来のように事務員が伝票を見ながら、まとめてコンピュータ入力しては、入力担当者の負荷ばかりが大きく、情報の鮮度も保証できないし、何より人が減らせない。そのため情報は発生したところで、すぐに電子化できる体制が重要になる。図7に示すように、各プロセスで発生する情報は、本来その情報を発信している本人が電子化することが望ましい。

同時にそうした情報を加工して得られる各種統計資料も、それを利用する社員が必要に応じて集計し、最新のものを作成することが望ましい。

そのために、最近では前節で述べたような生産情報を一元管理して資源化し、企業のさまざまな部門が情報を共有化することにより、効率的な生産を行えるようにする取り組みが求められており、指示情報を発信することの多い管理者層はもちろん、営業担当者や工場の現場レベルでも直接コンピュータを扱えることが必要になっている。

企業におけるパソコン研修は、こうした流れに乗り遅れないために社員のパソコンに対する知識を広げ、各人の仕事に必要なスキルを身につけてもらうことを目的に実施する。表2に当グループが支援して従業員100人規模の中堅金型製造業のM社で実施した研修の種類を示す。

パソコン入門コースは、情報化の必要性を多くの社員がすでに感じているので、実際に行動するための雰囲気作りを中心に実施する。そのため座学が中心になるが、興味のある社員が気軽にパソコンに触れられる機会を同時に設けると効果的である。

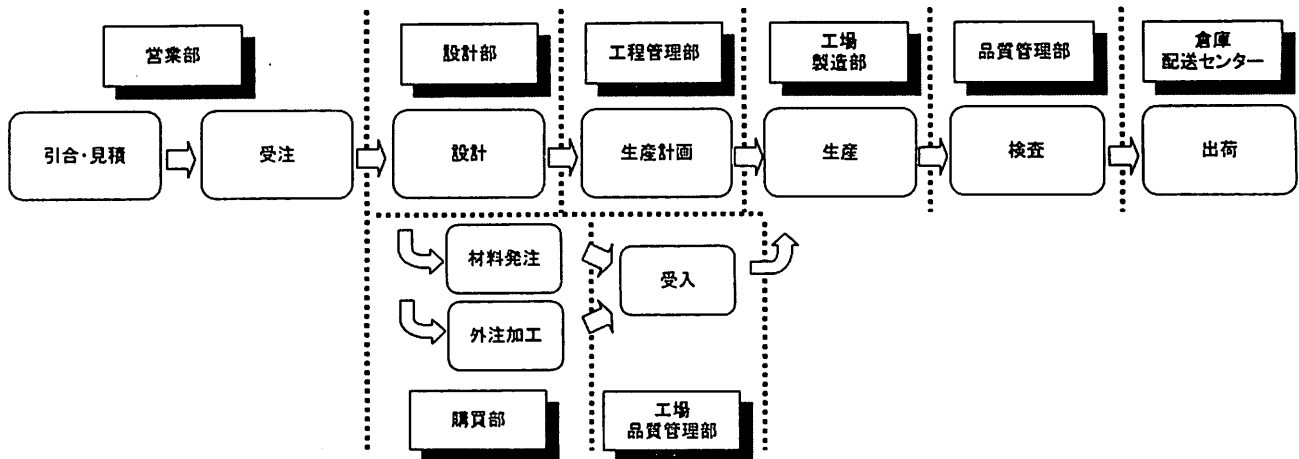


図7 各業務プロセスで発生する情報

パソコン活用コースは、部下のために一覧表やメモを作成する機会の多い部門長、課長を対象に、表計算ソフトの使い方に重点を置いて、実習中心で行う。そのとき各人が具体的に抱えている課題を解決するようなテーマ設定をするようにして、一般論での説明的内容にならないよう工夫することが必要である。

システム管理者育成コースは、導入したコンピュータシステムを維持、運用するために必要な知識の習得を目的に、情報化戦略、高度情報化技術やデータベースのシステム設計手法などについて系統的に学習する。また社内情報化のリーダーとして活躍できるよう、年齢を問わないで具体的なパソコン操作方法やソフトの特徴などを自主的に勉強するような人材を選択することが大切である。中小企業では人手の問題もあるが、危機管理の観点から最低二人がシステム管理者として自社の情報化を理解している必要がある。

パソコン研修では参加者が実際にパソコンを操作することでさらに理解が深まるが、そのためのパソコンをどう用意するかが問題になる。社内にあるパソコンが利用できれば良いが、不可能な場合は一時的にリースするか、研修そのものをアウトソーシングすることもひとつの方法である。

M社では最初に情報化推進用のパソコン2台を先行導入し、業務部の若手2人が当研究所でシステム管理者研修を受けた後、情報化リーダーとして社内研修を担当し、段階的にパソコン台数を増やしながらネットワークを構築している。パソコン研修を単なる新知識の学習に終わらせることのないように、パソコンを通常業務の道具として利用しながら、必要情報の流通促進を具体的課題に沿って進めるためのパソコン活用プロジェクトチームを編成し、情報化基盤整備と事務作業の生産性向上で

表2 パソコン研修コース

研修コース	対象	内容	期間/回数
パソコン入門	全社員	情報化の概要、パソコンの仕組み、基本ソフト、ワープロ、表計算ソフトの基本操作	1回(2時間程度)
パソコン活用	役員・中間管理職	表計算ソフトを利用した一覧表など統計情報の作成とデータベースの基礎	週1回で10回実施(1回2時間)
システム管理者育成	情報管理担当者	機器管理とネットワーク/データベースの運用管理	週1回で5回実施(1回3時間)

効果を挙げつつある。

### 5. システム開発事例

情報化戦略、人材育成と並ぶ情報化基盤のもう一つの要素は具体的なコンピュータシステムであり、企業情報システムの構築である。最近の大企業では欧米で普及しているエンタープライズ・リソース・プランニング (ERP: 経営資源計画) とよばれる受注、生産、資材調達、財務、人事などの業務プロセスを効率的に統合した既成の市販ソフト導入を検討しているところが増えている。大企業ではすでに部門ごとにデータベースを持っているが、これらが必ずしも本社レベルで共有化されていないこと、月次集計でしか全部門の経営情報が揃わないことなど、現在のようにスピードの要求される企業経営環境では十分な機能を持っていないことに対する回答の一つとして有望視されているからである。すぐれたERPソフトを選択し、企業の基幹業務をそのソフトに合わせるというのが特徴であり、従来の自社の業務に合わせて独自のソフトを開発する方法とは全く異なる。

中小企業ではオフコンで処理していた財務会計業務を、パソコン用の市販ソフトに置き換えることは一般化しているが、製造系には特徴があるため、一気にソフトを導入してシステム化をすすめるよりも、ステップ方式



で自社の優先度が高い業務からシステムを構築してゆくほうが有利である。

ここでは、高付加価値生産に寄与する3つの事例を簡単に述べるが、いずれも同じRDB（リレーショナル・データベース）システム開発ツールで構築している。これは、同じデータベースシステムを使うことで、将来的にすべての管理システムを統合化できるように配慮しているからである。

(1) 受注・出荷予定・出荷管理システム

メインメニューを図8に示すが、社長も含む全社員の業務に必要な基幹情報のシステム化であり、どの企業においても最も優先度が高い。とくに複数の営業担当者、生産拠点がある場合には共有化の効果が大きい。さらに受注時や出荷時に担当者が直接リアルタイムで入力すると効果が倍増するが、変更があったときに情報をタイミング良く確実に通知できる運用方法を検討しておく必要がある。情報入力のため営業部門や商品センター担当者の負担は大きくなるが、表3に示すように多くの社員がその情報を利用すること、画面インタフェイスの工夫で入力時間を短縮すれば情報コストは下げられる。社長や役員一人だけのために社員が入力している情報は、非常に高い情報コストがかかっていることを認識する必要がある。

(2) 作業実績管理システム

従来、作業実績情報は作業者の日報として、設備稼働実績情報と同レベルで収集されていた。そのため、作業の内容と所要時間を一日の終わりにまとめて帳票として報告することが多かった。ここでは受注出荷システムと組み合わせ、作業者自身が近くに配置された端末パソコンから、作業開始、作業終了時にリアルタイムで入力するシステムを検討した。工場内の作業の進捗状況が即座にわかるため、次工程の段取り、社内納期管理、設備の利用状況把握などに効果を発揮する予定であるが、



図8 受注出荷管理システムメニュー画面

表3 利用者数と情報コスト

入力担当者単価 (円/分)	入力所要時間 (分)	情報利用者数 (人)	情報コスト (円)
50	10	1	500
		2	250
		5	100
		10	50
		20	25
		50	10

運用上の問題からまだ本稼働には至っていない。

これは作業者の負担が増したこと、とくに加工時間が短く頻繁に入力する必要のある工程からクレームがあったことと、端末パソコンの台数が不足すること、入力に必要な作業指示情報の精度が低いことなどが主たる問題であったためである。また、設計や総務のように仕事形状として見えにくい部門の存在や、システム開発がトップダウンで進められたため、システム運用の目的を現場作業者はまだ理解していないように見えることも課題である。

しかし、進捗状況の把握だけではなく、単位時間あたりの出来高のように、作業の質を解析できる可能性のある作業実績管理システムは、高付加価値生産にとって不可欠なものであり、管理者と作業者の双方が納得できるようにメリットを明確にした上で、継続的に運用する必要がある。

(3) 現品票による工程内品質保証システム

当グループが情報化を支援し、情報化基盤の構築を進めている企業の中に「品質第一」を社是に掲げ、常に安定した品質の製品を提供することで、顧客満足度を上げている企業がある。しかし、完成品検査はともかく、工程内で品質をチェックすることは容易でない。計画生産の割合が大きい同社では図9に示したように工程への作業指示書に検査表を内包し、工程内検査の効率化に役立っている。しかし受注生産で日常的に工程の組み替えが生じる金型製造業では、いちいち工程ごとの作業指示書を発行していない企業も多い。

そこで金型製造業向けに図10に示すような、材料入荷時に検査結果を書き込めるように設計した現品票を発行

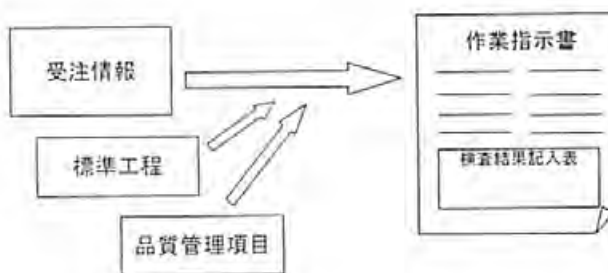


図9 検査表付き作業指示書

し、工程内品質保証を簡易に実現する検査管理システムを開発した。これは発注／仕入管理システムと連動しており、モノづくりに習熟したベテランの多い中小企業の製造現場向けに、加工者自身が外観、寸法検査など必要な検査項目をチェックし、指示情報を省いて簡素化した現品票の検査結果記入表部分に書き込む方式である。実際に現品票に書き込むので、チェック漏れが防止でき、確実な品質保証につながる効果が得られる。このシステムでは検査を確実に実施し、結果をドキュメント化することに重点を置いているので情報の電子化は最小限に抑えている。

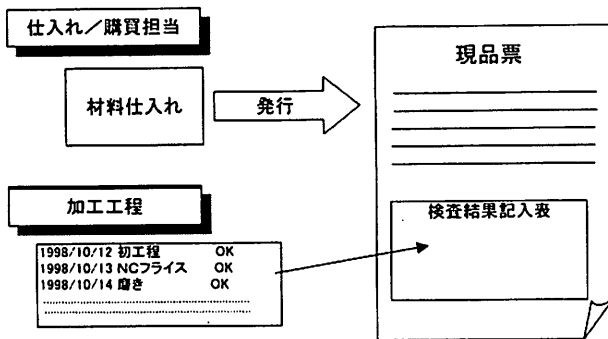


図10 検査表付き現品票

## 6. まとめ

中小企業が情報化に適切に対応できない原因として、もともと情報化担当社員が社内にはいないことが挙げられる。しかし最近では、逆にオフコン専任社員を擁する企業の方が情報化に乗り遅れる傾向があり、むしろこれまで

情報化が遅れていた企業の成功例が増えている。これは従来のシステムに固執しがちな専門家よりも、素人の柔軟な発想力が実用的な情報化を考える際にはより有利なためであると考えられる。

情報化基盤は素人集団であっても、自社の情報化戦略を明確に打ち出せれば、手作りでも十分に構築できるものであり、そのためには情報化委員会のような社内プロジェクト方式が有効な手段となる。情報化委員会では最初のステップの目的を社内の現状把握としてスタートし、徐々に委員会運営を通じて土壌を固めながら、情報化のあり方へと議論を方向づけてゆくのが効果的である。毎回テーマを決めて短時間に集中的に議論できるよう、効率的な運用を心掛けることでさらに実効をあげることができる。

そしてこのような情報化推進プロジェクトを実施することにより、社内に「情報を共有して業務の効率向上を図る」という意識が定着すれば、営業担当者が、企業情報データベースに登録した受注予定情報、受注確定情報を、他部門の社員がそれぞれの必要に応じて利用するようになったり、製造担当者が製造進捗情報を登録すれば、営業担当者が納期管理に役立てるといったように、スピーディで効率的な仕事の進め方が可能になる。

高付加価値生産のための情報化基盤というのは、物質的な情報インフラだけではなく、自社で情報戦略を立案し、人材育成によりスキルアップした人的資源と、コンピュータネットワーク、データベースを活用した情報資源を活用して、あらゆる業務の生産性を向上させていくことができる企業体質を意味している。

# 反応性イオンプレーティング法における 化合物皮膜の機能強化法

## *Improvements of Properties of Compound Films by Activated Reactive Ion-Plating*

石神 逸男\*      三浦 健一\*      星野 英光\*  
*Itsuo Ishigami      Ken'ichi Miura      Hideaki Hoshino*

水越 朋之\*\*      浦谷 文博\*\*\*      小川 倉一\*\*\*\*  
*Tomoyuki Mizukoshi      Fumihiro Uratani      Soichi Ogawa*

(1998年10月28日 受理)

キーワード: イオンプレーティング, 化合物皮膜, 内部応力, 柱状晶, 耐食性, 耐摩耗性, 多層膜, 保護膜

### 1. はじめに

近年、金属材料の使用環境がますます苛酷になり、もはや金属材料単独では機能的に対応しきれなくなりつつある。その場合、要求される機能が耐摩耗性や耐食性のよう主として表面に求められるときには、金属とはまったく異なる特性を持つ化合物などを被覆することが行われている<sup>1)2)</sup>。それには多種多様な方法があるが、構造用部材にはイオンプレーティング法が用いられることが多い。その理由としては被覆温度が比較的低温、皮膜と基材の密着性に優れ、化合物被覆が容易なことなどがあげられる。化合物は金属よりもはるかに硬く、様々な色彩を有するものが多いため、当初は工具や装飾品に被覆されることが主流であった。しかし被覆の対象範囲が拡大されるにつれ、皮膜にも新たな機能が求められ、しかも工具などではあまり問題視されなかった皮膜特性が被覆効果を劣化させていることもわかってきた。

このような状況に対処するのに、種々の化合物を被覆して、それらの適応性を比較評価し、より機能性の高い皮膜を見いだしていくことも有効な手段ではあるが、化

合物種の変更は往々にして現有設備やそれまでに蓄積されたノウハウがそのまま活用できないなどの問題を生じることが多い。したがって、もし同じ化合物でもプロセス・パラメータ制御や被覆方法を工夫することでその機能を飛躍的に向上させることができれば、その技術的価値は非常に高いと思われる。

本稿では、まずプロセス・パラメータと膜質との関係を明示したうえで、膜質制御が困難な背景には何があるのかを述べる。次に皮膜とバルク材の基本的な相違点と共通点に言及し、被覆技術の開発にあたって、それらをどのような観点で取り扱ってきたか、具体的事例をあげて説明する。その際、対象化合物としては現在もっとも多用されているチタン窒化物をとりあげた。また提示したデータは中空陰極放電方式イオンプレーティング法(以下、HCD-IP法と呼ぶ)で形成させた皮膜に関するものではあるが、そこに示した知見は他種化合物の被覆に対しても広く活用しうることを念頭に置いた。

### 2. 膜質制御が困難な背景

同じ条件で被覆した製品でも、その性能が被覆のたびごとにばらつくことはしばしば経験する。本節では、そのことが何に起因しているのかを考えてみる。

通常、同じ条件というときには、“温度は700K、圧力は…”のように、用いるプロセス・パラメータすべて

\* 材料技術部金属表面改質グループ

\*\* 材料技術部金属材料グループ

\*\*\* 評価技術部金属分析グループ

\*\*\*\* 材料技術部

表1 HCD-IP法における各プロセス・パラメータ値の増加にともなうチタン窒化物皮膜に関する諸値の変化<sup>\*1)</sup>

(基板: 高速度鋼SKH51)

プロセスパラメータ	構成相	硬さ	結晶粒度 (TiN)	圧縮応力	酸素濃度	[N]/[Ti]	表面あらさ	堆積速度	基板温度
被覆温度	TiN	↓	↑	↓	↓	↑	↓	—	↑
被覆時間	TiN	↓w <sup>*2)</sup>	↑	↓	↓w	↑	↑	—	↑
電子ビーム電流	TiN	↓w	↑	↓w	—	↓w	↑	↑	↑
バイアス電圧	TiN	↑~↓w	↓~↑w	↑~↓w	↓~↑w	↑~↓w	↓	—	↑
ガス圧力	TiN								
	Ti <sub>2</sub> N	↓	↑	↓	↓	↑	↑~↓	↓	—
	α-Ti								
窒素混合比	2.89Pa	TiN	↓w	↑w	↓w	—	—	↑	↑
	0.67Pa	TiN <sup>*3)</sup>	↑w	×	↑w	↓w	↑	↑	↑w
距離 <sup>*4)</sup>	TiN	↑w	↓	↑w	—	↑w	↑w	↓	↓
傾斜角 <sup>*5)</sup>	TiN	↑~×	↓w~↑w	↑~↓	↑w~↓w	—	↓	↓	↓~↑

\*1) ↑: 増加, ↓: 減少, ↑~↓: 増加後に減少, ↓~↑: 減少後に増加, —: 変化なし, ×: 測定不可

\*2) wは微量変化を表す \*3) 微量のTi<sub>2</sub>Nが存在 \*4) 基板と蒸発源の距離 \*5) 蒸発源に対する基板の傾き

の設定値が同一であることを意味する場合が多い。表1にHCD-IP法で定量設定しうるプロセス・パラメータの種類およびそれらと膜質の間に潜在する因子などの関係について、現在までに得られた結果の一部をまとめて示した<sup>5)</sup>。これらの関係を参考にパラメータ制御を行えば再現性の高い被覆が可能かと言えそうとはかぎらず、実際にはパラメータとは称しにくい因子が複雑にかかわってくる。それを示唆する一例を図1に示す。これは

窒素ガス混合比によるチタン窒化物皮膜中の酸素濃度の変化を調べたものである。ガス圧力0.67Paでは混合比の増加とともに濃度が減少しているが、注目すべきは、ある時期に作製した皮膜群と他の時期の皮膜群とでは、変化の傾向は同じでも、別々の曲線を描くことである。また圧力2.89Paでも作製時期に隔たりがあるものほど同一曲線に載りにくい。これらは蒸発源溶湯の形状、カソードの消耗状態あるいは槽内壁へのガス吸着程度などの変動が原因と考えられる。例えば、TiN被覆では、蒸発源のチタン溶湯周辺の未溶解部にチタンよりもはるかに高融点のTiNが形成され、被覆回数を重ねるごとにその領域が拡大し、溶湯面が狭まってくる。その結果、たとえ“同じ条件”であっても、被覆を繰り返すごとに単位溶湯面積あたりの投入電力が大きくなり、堆積速度が増加する。後述するように、堆積速度の増加は基本的には圧縮応力を増加させ(3(1)(c)項参照)、ひいては皮膜と基板の密着性、皮膜表面の平滑性、耐食性ならびに耐摩耗性などをかなり劣化させる(5章参照)。なお図1における程度の酸素濃度差でも膜質がばらつくのかと言え、不都合なことに、微量な酸素混入でも圧縮応力の顕著な増加をもたらすことがわかっている。

このように安定した性能の皮膜を作製することが困難な背景には、人為的な制御が困難な、偶然性の強い因子が膜質と密接にかかわっているという事実が存在する。

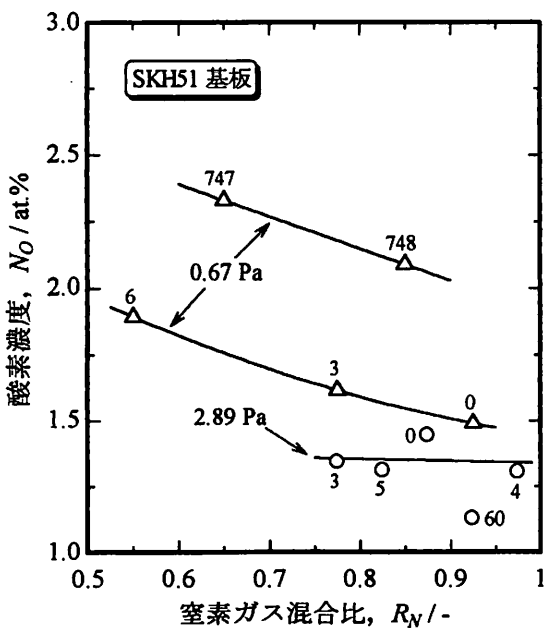


図1 窒素ガス混合比 $R_N$ によるチタン窒化物皮膜中の酸素濃度 $N_O$ の変化;  $R_N=N_2/(Ar+N_2)$

(注)記号の添数字は最初の皮膜を作製してから何日目に作製した皮膜かを表す。

### 3. 皮膜に特有な性質

同じ化合物でも皮膜とバルク材では大きく異なった性

質を示すことがある。ここでは皮膜特有の性質として内部応力と堆積構造をとりあげて説明する。

(1) 内部応力<sup>6)</sup>

材料を皮膜化すると本質的に応力を誘発する。その原因に対する統一的な解釈は未だ行われておらず<sup>7)</sup>、多くの実験事実から推定しようとしているのが現状である。

(A) 応力発生原因の概念的な記述<sup>8)</sup>

原子の持つエネルギーは固体より気体の方がはるかに大きく、凝縮の過程で余分のエネルギーが放射や伝導で逃げようとする。しかし基板に到達した原子は付着による拘束を受けて移動度が低下しており、しかも原子の体積に対する表面積の割合が大きいため、放熱速度が非常に大きく、急速にエネルギーを失う。その結果、原子は安定な位置に移動(構造緩和)することができなくなる。このように凝縮過程で解放されるべきエネルギーの一部が歪みエネルギーとして蓄えられ、内部応力が発生する。

(B) 皮膜の応力に関する経験的な事実

これまでの結果では、次のようなことが言える<sup>7)9)10)</sup>。

- ① 応力は最大で 10GPa 程度で、多くの金属では 100MPa 以下、それ以下の値である。
- ② 化合物膜では圧縮応力、金属膜では引張応力を生じることが多い。ただし成膜方法によって応力の種類が異なり、同じ金属膜でも、真空蒸着では引張応力であるが、スパッタリングでは圧縮応力になることが多い。一般に、高エネルギーの原子が堆積するときは圧縮応力になる傾向がある。
- ③ 高融点、硬質の皮膜では大きな応力が発生しやすい。
- ④ C, B, Bi, Ga, ZnS, TiC, TiN, SiO<sub>2</sub>, ZnO, MgO,

Ti-Al-N などで圧縮応力が観測されている。

- ⑤ 成膜過程の多くは非平衡状態である。気体から凝縮するとき、基板温度が低いほど、堆積速度が大きいほど非平衡度は高いと考えられるが、同時に応力も大きい場合が多い。

- ⑥ 次節(2)で述べる皮膜構造との関係では、皮膜が zone I 構造から zone T 構造へ変化するときに引張応力から圧縮応力へと移行する。

(C) 内部応力を軽減するための考え方

原子の移動度を増大させ、構造緩和を促すことが基本的な考え方で、それには次の二つの条件が必要となる。

- ① 付着原子が移動に必要なエネルギーを有している。
- ② 付着原子の移動を阻害する要因が少ない。

まず①については、基板温度を上げることがもっとも容易な方法であるが、過度の温度上昇はイオンレーティング法の優位点である低温プロセスに逆行する。また基板への電圧印可によってエネルギーを与えることもできる。応力緩和には数 eV 程度が有効とされている。過剰なエネルギーは原子を構造的に不安定な位置に強制移動させたり、種々の格子欠陥の誘因となることがある。その場合、結晶核の発生頻度を高め、現象的には微細結晶粒となることが多い。通常、結晶粒が微細化するときには内部応力の増大も同時に認められる<sup>6)11)</sup>。逆にエネルギーが低すぎると化合物合成に不利である。図 2 にバイアス電圧による TiN 皮膜の結晶粒径と応力の変化を示す。わずかな電圧印可で結晶粒は急速に微細化し、圧縮応力も急増している。さらに電圧を加えると、イオン衝撃による基板温度上昇のため、応力は逆に減少する。一方、cBN 皮膜を再加熱し、原子の熱活性化移動によって応力を除去した例もある<sup>12)</sup>。しかしこの方法は比較的高い温度を必要とし、TiN の場合は 800K 以上でないとその効果は期待できない(図 3<sup>13)</sup> 参照)。皮膜形成後では周囲の皮膜構成原子による拘束も受けるため、原子の熱活性化移動を活かすにはむしろ皮膜形成中に基板温度を上げる方が有利である。なお基板温度は被覆中に蒸発源からの輻射熱によって上昇するため、図 3 では被覆開始時の基板温度を被覆温度、平衡到達温度を平衡温度と呼んで区別した。

次に②の付着原子の移動を阻害する要因について、堆積速度が大きいときには構造緩和に向かう途中の原子に新たな原子が飛来・付着することによって移動度を低下させることがある<sup>11)</sup>。その場合、基板と皮膜が同一物質であれば構造緩和のための移動が容易であると思われるが、被覆の目的から考えて基板と皮膜が同じ物質であることはまずあり得ない。したがって、まず小さい堆積速度で被覆することによって構造緩和ができるかぎり進んだ皮膜を形成させ、その後ある程度の皮膜厚さに達

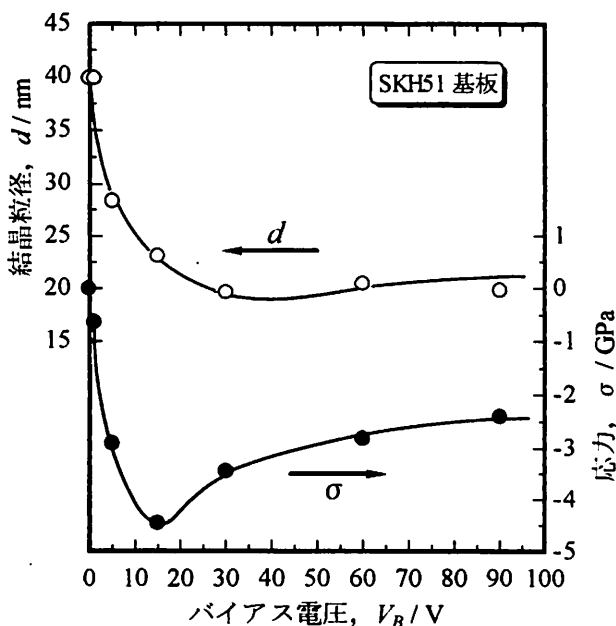


図2 バイアス電圧による TiN 皮膜の結晶粒径  $d$  と内部応力  $\sigma$  の変化

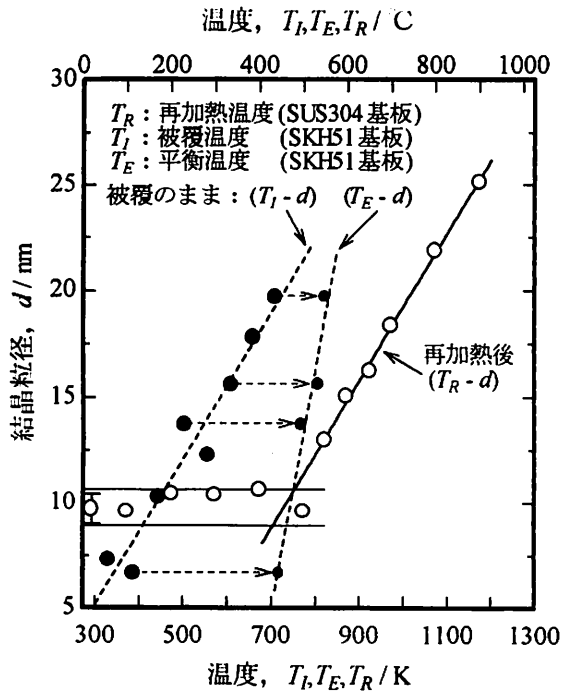


図3 被覆温度 $T_I$ および再加熱温度 $T_R$ によるTiN皮膜の結晶粒径 $d$ の変化

してから大きな堆積速度に切り替えるなどの被覆方法が効果的と考えられる。また皮膜成長面への吸着インヒビター\*1)も移動度に影響をおよぼす。図4<sup>14)</sup>にTiN皮膜形成時に酸素を意図的に添加したときの皮膜の酸素濃度と硬さ、結晶粒径および応力との関係を示す。本来、材料には結晶粒が微細化するほど硬さが増すという性質があり、また圧縮応力も硬さを増加させる。したがって図4の硬さ上昇は、酸素が付着原子の移動を妨げ、結晶粒の微細化と圧縮応力の増大とによる相乗効果として引き起こされたものと考えられる。なお図5に各プロセス・パラメータ値を種々変えて作製したTiN皮膜の結晶粒径と応力の関係を示す。両者の間にはパラメータ種を超越した強い相関性が存在しており、結晶粒径が構造緩和の程度を知るのに有効な指標になりうると思われる。

以上のように、内部応力に密接にかかわっている因子として①基板温度、②イオン照射エネルギー(電圧、電流密度、入射角、イオン種)、③堆積速度、④吸着インヒビターなどがあげられる。新しい被覆技術を開発するうえで、これらの取扱いは常に念頭に置く必要がある。

(2) 皮膜の堆積構造

(A) 堆積構造の分類

\*1) 吸着インヒビターの語句は後掲文献(18)-(20)の中で、皮膜成長面にガスが吸着することによって付着原子の移動あるいは皮膜面成長を抑制するものという意味で使用されている。同様に3(2)(A)項の吸着インヒビションの語句はそのような現象を示す。

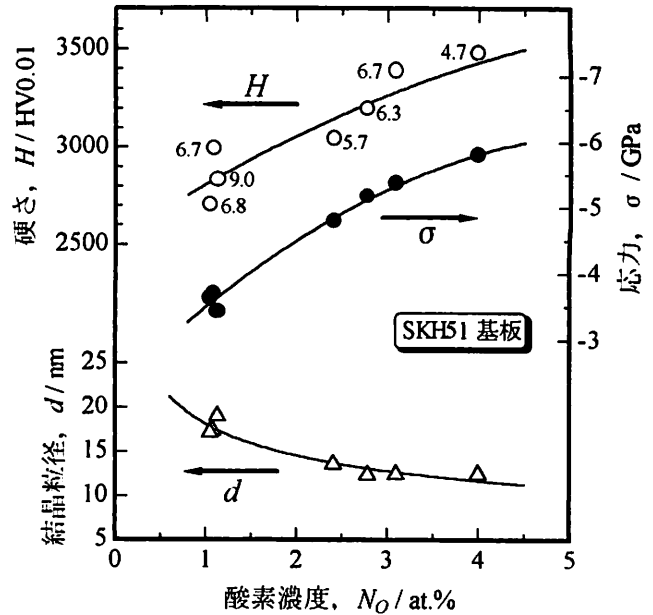


図4 TiN皮膜の硬さ $H$ 、結晶粒径 $d$ および圧縮応力 $\sigma$ と酸素濃度 $N_O$ との関係

(注)記号の添数字は膜厚( $\mu\text{m}$ )を表す

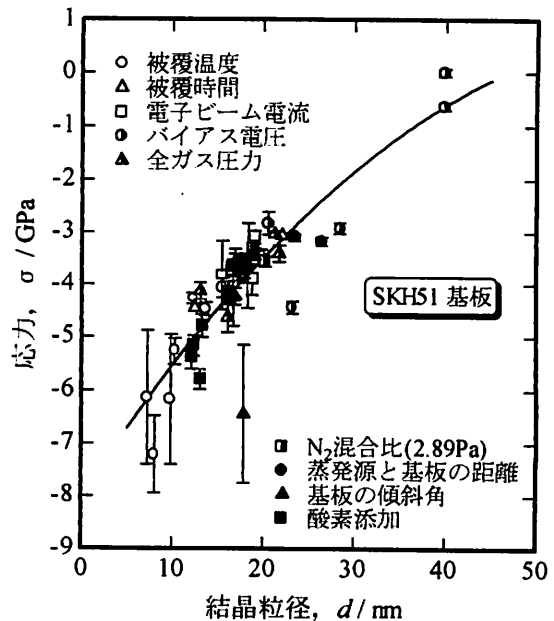


図5 各パラメータを種々変化させて作製したTiN皮膜における結晶粒径 $d$ と応力 $\sigma$ の関係

これには構造帯モデル(SZM: Structure Zone Model)<sup>15)-17)</sup>がよく使われる。例えば、J.A.Thorntonは銅のスパッタリング皮膜の構造を次のように分類している<sup>16)</sup>。

- ① zone I: ボイドによって分離されたドーム状の先細り結晶粒からなるポーラス構造(粒同士は弱い力で結合され、隙間が存在する)
- ② zone II: 明瞭な柱状晶粒構造
- ③ zone T: 緻密に堆積した繊維状結晶粒からなる zone I から zone II への遷移構造

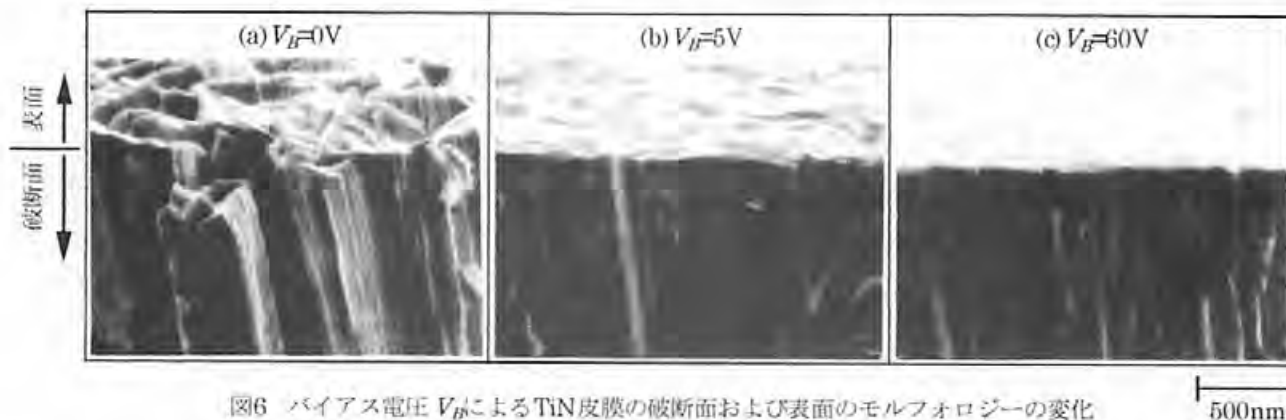


図6 バイアス電圧  $V_B$  によるTiN皮膜の破断面および表面のモルフォロジーの変化

④ zone III : 再結晶粒構造(原子の移動度が大きい場合)

被覆温度が低いイオンプレーティング法では zone I および zone T 構造が主体である。とくにバイアス電圧は堆積構造に大きく影響する。バイアス電圧が 0V のときには zone I 構造が観察され(図 6(a)), 表 1 に関する一連の実験で得られた皮膜の中では唯一引張応力を示した。これにバイアス電圧を加えると zone T 構造へと変化し、圧縮応力を生じる(図 6 (b), (c))。なお皮膜は著しい優先配向を示すことが多いが、その機構を吸着インヒビションの観点から説明づけた報告がある<sup>(18)~(20)</sup>。

(B) 堆積構造から予測されること

基本的にイオンプレーティング皮膜は基板表面に垂直な柱状晶を単位構造として堆積している。これらの粒間には結合力がそれほど強くないため、粒界に垂直方向の引張力や粒界面に平行な剪断力には弱いと予想される。また一度発生した欠陥は皮膜を貫通したピンホールなどに連続成長することが多いと考えられる(5章参照)。

4. バルクと皮膜の共通点

厚さ数  $\mu\text{m}$  の皮膜は原子サイズにくらべて著しく大きく、当然、皮膜中の原子はバルク材中と同様な挙動をし、皮膜とバルク材には共通点が見られるはずである。

(1) 硬さの結晶粒度依存性

図 7<sup>(10)</sup> に示すように TiN 皮膜の硬さもバルク材と同様にホール・ペチの法則に従う。ただし皮膜では圧縮応力による硬さ増加(低温被覆)や、種々の欠陥および皮膜構造(バイアス電圧が低すぎるときの zone I 構造など)による硬さ低下が起こる。例えば、TiN バルク材の硬さは HV2000~2200 であるのに、皮膜では HV340~4000 の広い範囲で変動する<sup>(11)</sup>。図 5 にも示したように、結晶粒が小さい皮膜ほど圧縮応力は大きい、過剰な圧縮応力は有害なことがほとんどであり、その意味では必要以上に硬い皮膜は良質な皮膜とは言えないように思われる。

(2) 皮膜とバルク材の耐食性

TiN 被覆した SUS304 の腐食電流は膜厚増加にともなって減少し、最終的にはガラスに被覆した TiN 皮膜と同じ値となる<sup>(21)</sup>。この結果は、皮膜自身はバルク材とほぼ同等の耐食性を有してはいるものの、耐食性向上にはむしろ皮膜の環境遮断性が重要なことを示している。すなわち皮膜に生じる種々の欠陥が腐食因子の進入経路となり、被覆材はバルク材より耐食性に劣ることが多い。したがって耐食皮膜を意図した化合物種の選定にあたっては、化合物自体の耐食性の優劣よりも、皮膜にしたときに欠陥が発生しにくい(環境遮断性に優れている)化合物であることを選定の優先基準とするべきである。なお TiN 被覆材では、皮膜の圧縮応力は皮膜欠陥部での基板腐食を促進する傾向が見られる<sup>(22)</sup>。

5. 皮膜特性を考慮した被覆技術の展開事例

現在までに開発してきた被覆技術の具体例をあげ、開

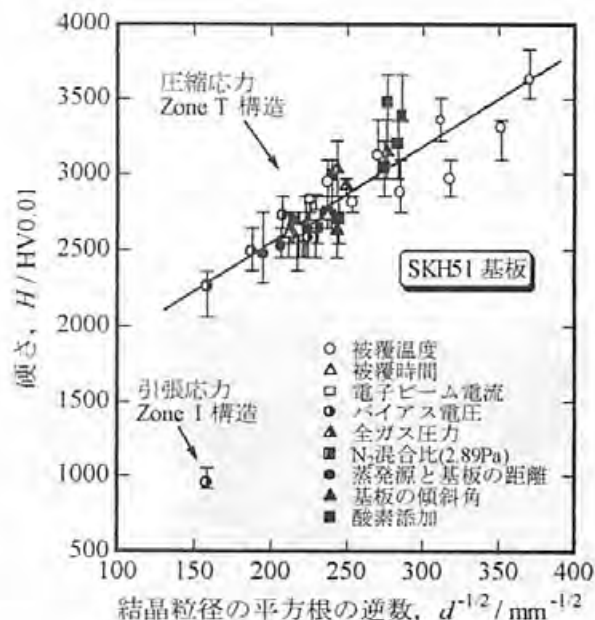


図7 TiN皮膜における結晶粒径  $d$  と硬さ  $H$  の関係



発の過程で留意した基本的事項や残された課題および今後の望ましい展開について述べる。

#### (1) 密着性の向上<sup>25)</sup>

基板にとっては著しく過酷な環境で使用されるのが被覆材の宿命であるから、皮膜が基板から剥離した時点で製品は非常に深刻な損傷を受ける。したがって被覆技術にまず求められるのは基板と皮膜の密着性向上である。

#### (A) 密着力と付着力の違い

通常、密着性が良い、悪いと言うときには、皮膜が基板に付着している強さ(付着力)そのものの大小ではなく、外部から皮膜に力を加えたとき皮膜が基板から剥がれるまでに行った単位付着面積あたりの仕事量、あるいは力の与え方が一定であるときには、引き剥がすのに要した単位付着面積あたりの力の大小を称している。多くの場合、我々が測定しようするのは外部から加えた力の大きさであるが、剥離は皮膜が基板に付着している力に逆らって、その大きさを上回る力が付着面に作用したときに起こる。

#### (B) 密着性の改善方法

これには①皮膜と基板の付着力そのものを高める、②皮膜と基板の界面(付着面)への応力集中を緩和する、③皮膜の内部応力を小さくするなどの方法が考えられる。これまでに提案された方法は上記①～③のいずれか、または複数を組み合わせて改善を図っている。

よく用いられる方法として基板と TiN 皮膜の間に薄い Ti 層を挿入する(アンダーコート)方法がある。それによる密着性向上の理由として、①Ti 層と基板の反応(例えば、鋼基板中の炭素と反応して TiC を形成<sup>24)~26)</sup>、②Ti 層による応力緩衝効果<sup>25)~26)</sup>、③皮膜と基板の濡れ性改善<sup>27)</sup>などが言われている。Ti 層の最適厚さもこれらのどの効果を期待するかで異なるものと思われるが、多くは 0.1~0.2 μm と言われている<sup>28)~30)</sup>。筆者らがロックウェル圧子打ち込み法<sup>31)</sup>で調べた結果では 0.1 μm より 0.47 μm の方が良好な密着性を示した<sup>32)</sup>。ただし Ti 層が厚すぎると界面が脆化するという報告もある<sup>28)</sup>。

皮膜の内部応力を抑制することも密着性向上に大きな効果がある。TiN 皮膜の圧縮応力は低温で被覆するほ

ど顕著に増加するが、構造緩和を促進するようなプロセス・パラメータ値の組み合わせで被覆すると、室温域でも密着性に優れた、良好な被覆を行うことができる<sup>33)</sup>。同様に、Ti<sub>0.9</sub>N を主体とする皮膜は、室温で形成させてもその圧縮応力は 707K での TiN 皮膜の 1/5 程度と非常に小さいため<sup>34)</sup>、低温被覆が非常に容易である<sup>35)</sup>。その際、ミッシュメタルを添加すると密着性はさらに向上したが<sup>33)</sup>、TiN-6wt.%Al 皮膜でも La を添加すると密着力が増加することが報告されている<sup>36)</sup>。

#### (2) 皮膜の表面あらしの制御

皮膜には用途に応じた表面あらしが要求される。例えば、医療器具では過度の平滑面は照明の反射光により術者の作業に支障をきたすことがある。一方、機械部品の摺動部では基本的には平滑なほど好ましいと予想される。

#### (A) 表面あらしにおよぼす被覆条件の影響<sup>37)</sup>

各プロセス・パラメータと表面あらしの関係はすでに表 1 に示した。例えば、被覆温度を上昇させると表面あらしは減少する。図 8(a)に示すように低温域(330K)での皮膜にはクレータ状の剥離や亀裂を無数に生じたが、558K および 609K では数十 μm の大きさの皮膜欠落部が局所的に認められ、707K では非常に平滑な面となる(図 8(b))。このように被覆温度による表面あらしの変化は皮膜表面の剥離、亀裂および欠落などの形成・消失を反映していた。その場合、圧縮応力は 707K での 3.4GPa に対して、330K で 6.1GPa、387K で 7.2GPa と低温域で著しく大きく、皮膜の剥離や欠落は過大な圧縮応力が主因と考えられる。事実、亀裂の片側が他方側へ盛り上がっていることが多い(図 8(c))。

一方、バイアス電圧の増加は表面の平滑化をもたらす。電圧 0V の皮膜は粗い柱状晶からなり、典型的な zone I 構造である。各柱状晶の先端はひし形あるいは正方形に近い形で、それらが互いに異なった傾斜をなし、鋭い起伏を生じている(図 6(a)参照)。これらはわずかな電圧印可でも zone T 構造に変化し、柱状晶が微細化するとともに、表面起伏は鈍化し、平滑化に向かう(図 6(b))。さらに電圧を増加すると、柱状晶の微細化と緻密化が進



図8 被覆温度  $T_f$  による TiN 皮膜の表面状態の変化



み、表面はより一層滑らかになる(図 6(c)). なお通常の被覆で得られる TiN 皮膜は zone T 構造と考えてよい。

以上のように、表面あらさの変化が表面の幾何学的形状と明確に対応している場合もある。しかしながら、多くの場合は、プロセス・パラメータの変化にともなう形状変化が明瞭でないにもかかわらず、表面あらさの有意な変化が起こる。次項では、その理由を考える。

### (B) 表面あらさへの圧縮応力のかかわり

前項で被覆温度が低下すると圧縮応力が増加し、同時に表面あらさも増大することを指摘した。ところが圧縮応力の増加が常に表面あらさの増大をもたらすかと言えばそうではない(表 1 参照)。それでは圧縮応力は表面あらさにどのようにかかわっているのだろうか。その疑問に対しては図 9 が有益な示唆を与えてくれる。この図は全ガス圧力による表面あらさの変化を示したものであるが、表面あらさが極大となる 1.60Pa は、ガス圧力を減じるにしたがって、皮膜構成相が TiN 単相から (TiN + Ti<sub>2</sub>N(微量)), (Ti<sub>2</sub>N + α-Ti) 混合相へと変化すると同時に、TiN(111)配向から極度の TiN(220)配向へと移行する圧力でもある。いま種々の方位を持つ柱状晶群で構成された皮膜に圧縮応力が作用した場合を考える。そのとき皮膜は基板に垂直方向の歪みを生じるが、弾性定数は結晶異方性を示すため、各柱状晶で歪み量が異なり、表面あらさは増加するものと考えられる。例えば、1GPa の圧縮応力が加わった Nb 膜では結晶方位によってその歪みに最大 0.7% 近くの差を生じる<sup>37)</sup>。これは、柱状晶間の結合力が無視しうる程度に弱い場合、厚さ 10 μm の皮膜で 0.07 μm の高低差に相当する。事実、表 1 に関して得られたすべての TiN 皮膜において、表面あらさが大きい皮膜では特定の優先方位は示さないのに対して、平滑性に優れた皮膜では例外なく結晶配向性の著しい皮膜であり、しかも配向面の種類にはあまり関係しなかった。なお図 9 であらさがもっとも小さい 0.45Pa の皮膜は(Ti<sub>2</sub>N + α-Ti)混合相で、5(1)(B)項で既述したように、その圧縮応力は TiN 皮膜よりはるかに低い。

### (C) 表面あらさが変化する理由

以上のことから、表面あらさには皮膜の圧縮応力と結晶配向性が密接に関係しており、あらさを増大させるのには次の二通りの様式がある。

#### ① 過剰な圧縮応力が存在する場合

クレータ状の剥離、亀裂および局所的な欠落などの表面形状変化を生じ、著しい荒れを引き起こす。

#### ② 形状変化が起きない程度の圧縮応力が存在する場合

結晶方位の異なる結晶粒が隣接しているとき、弾性定数の結晶異方性に起因した各粒間の歪み差によって荒れが生じる。したがって結晶配向性が著しい皮膜ほど滑らかな表面を呈し、配向面の種類にはあまり関係しない。

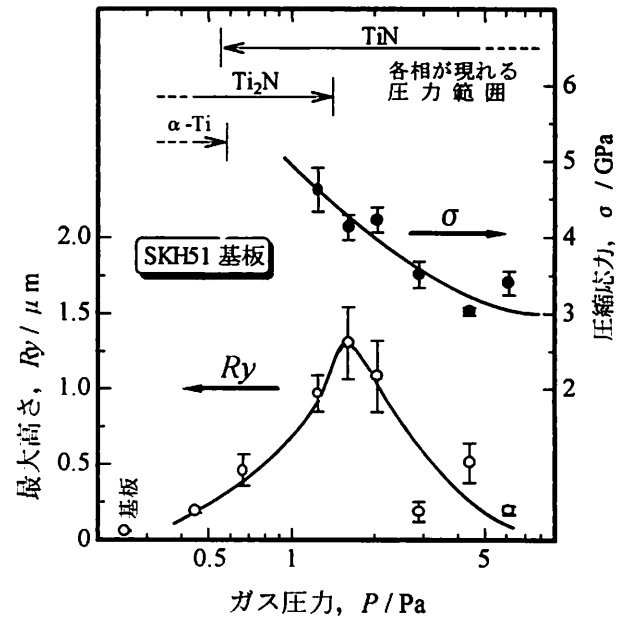


図9 全ガス圧力 $P$ によるチタン窒化物皮膜の表面あらさ(最大高さ $Ry$ )の変化

### (D) 表面あらさの制御方法

まず圧縮応力の制御であるが、それに対する指針は3(1)(C)項ですでに述べた。次に結晶配向性の制御について、これに関して論理的に取り扱った報告は少ない。ただ結晶配向性の変化を吸着インヒビションの観点から解釈しようとする試みがある<sup>18)-20)</sup>。それは吸着インヒビターが多いときは皮膜成長面における表面エネルギーの高い結晶面に吸着されやすいため、その結晶面の成長が遅くなるという考え方である。例えば TiN の(111)面と(200)面を考えると表面エネルギーは(111)面が高いので、吸着インヒビターが多いときは(111)面に優先吸着し、その面の成長を遅らせて(111)面配向をもたらす。逆に吸着インヒビターが少ないときは(111)面の成長が速いため、(200)面が広がり(200)面配向となる<sup>18)</sup>。ただし筆者らが TiN 皮膜形成時に強い吸着インヒビション効果を持つと思われる酸素を導入して結晶配向性の変化を調べたところ、酸素を増量するほど(220)面や(200)面配向が強まる結果が得られた。これについては酸素導入による結晶配向性の変化を吸着インヒビション説で解釈すべきかを含めてさらに検討の余地がある。

#### (3) 低温被覆<sup>33) 36) 38)</sup>

低温被覆では過大な圧縮応力が発生し、皮膜の密着性や表面平滑性を劣化させるのが最大の欠点である。高温被覆では基板加熱時にあらかじめ炉壁からの水分や吸着酸素などが放出された後で被覆を行うことになる。これに対して低温被覆では被覆前の吸着ガスの放出は少なく、被覆時に蒸発源溶湯の輻射熱によって一気に放出されたガスが皮膜へ混入する。この混入酸素は圧縮応力を顕著

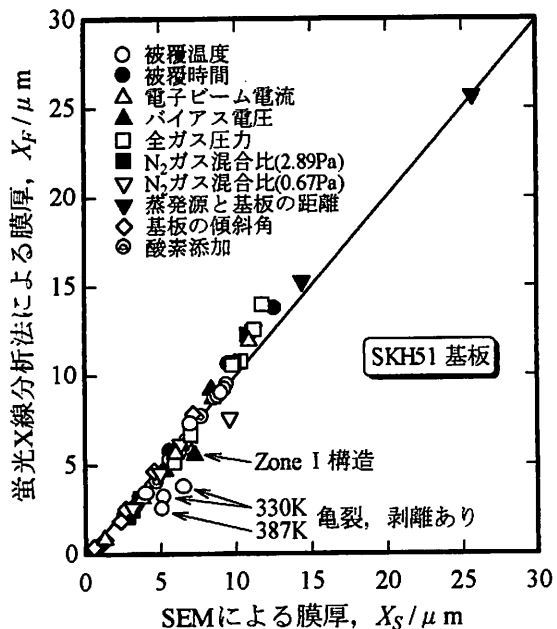


図13 SEMと蛍光X線分析法で測定した膜厚の関係

法：とくに多層皮膜に対して非常に有効である。これは皮膜表面から基板に向かって Ar<sup>+</sup>スパッタリングしながら連続的に分光分析を行う方法であり、スパッタリング時間に対する複数元素の濃度分布が同時に得られる。この濃度分布から各層厚さを求める。具体的には、まず厚さが既知の TiN 単層膜と Ti 単層膜を分析し、スパッタリング速度を求めておく。次に Ti/TiN 多層皮膜の各層のスパッタリング時間から Ti 層と TiN 層それぞれの厚さを求める。結果の一例を表 3 に SEM 法の値と比較して示す。分析条件は周波数 13.56MHz、電力 40W、アノード径 4mm、Ar 流量 33.3cm<sup>3</sup>/s(標準状態)で、スパッタリング速度は TiN : 15.5nm/s, Ti : 31.5nm/s である。比較的精度の良い測定が可能である。各層界面の分離精度などいくつかの課題は残るが、短時間に測定でき、しかも皮膜元素の濃度分布も同時に得られ、構造用皮膜の管理には非常に有望であると思われる。もちろん単層膜にも精度よく適用できる。

(B) 被覆中の膜厚管理指標

プロセス・パラメータ値と堆積速度の間には強い相関性がある(表 1 参照)。したがって、本来ならば被覆時間による膜厚管理が可能はずである(時間管理)。しかしながら実際にはプロセス・パラメータとは無関係な要因により堆積速度の予期せぬ変動がしばしば起こる。そこで、もっと的確な管理指標を見いだすことを目的として①蒸発源への投入電力(電力管

表 3 Ti/TiN 多層皮膜の GDS 分析結果

皮膜構成		膜厚 (μm)		スパッタリング時間 (s)
		SEM	GDS	
基板側 ↑	Ti	0.61	0.57	18
	TiN	1.04	0.84	54
	Ti	0.21	0.44	14
皮膜表面側 ↓	TiN	0.67	0.53	34
	Ti	0.80	0.95	30
全体		4.02	4.06	197

理)、②基板へ流れ込む電気量(電気量管理)を取り上げ、それらの有効性を検討した。図 14 は時間管理で不自然な変動が見られた被覆条件での結果を電気量および電力で再整理したものである。電気量および電力いずれの管理法でも相関性は増大したが、とりわけ電気量管理で顕著であった。しかも電気量管理では皮膜構成相種を超越して適用できた。電力管理が電気量管理より劣る理由は次のように考える。電力は電子ビーム電流 I<sub>b</sub> とカソード電圧 V<sub>c</sub> との積で与えられる。ところが HCD-IP 法においては I<sub>b</sub> は設定できるが、V<sub>c</sub> は溶湯やカソードの消耗状態あるいはガス圧力やガス混合比などが変化するとそれに応じて I<sub>b</sub> の設定値を保持するように自然に変化する。溶湯やカソードの状態は人為的な制御が不可能であり、そのため電力管理にはおのずと限界がある。

(C) 電気量管理法による高耐食性多層膜の再現被覆

前項 5(4) (A) でもっとも良好な耐食性を示した多層膜 C3 の再現被覆を試みた。まず Ti および TiN 各単層膜における堆積速度と電気量の関係から多層膜 C3 の各層厚さに対応する電気量を求めておき、それにしたがって電気量計による監視を行いながら多層膜を形成させた。図 15 に示すように、少なくとも各層の厚さについては非常に精度の高い再現被覆を行うことができる。

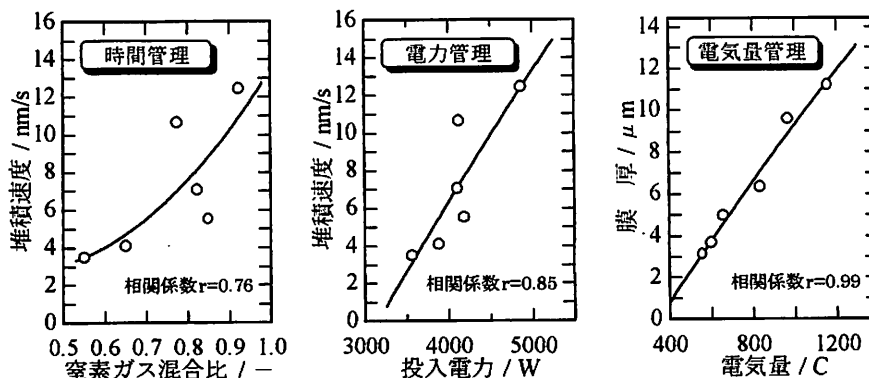


図14 膜厚制御に対する各管理法の有効性；〔窒素ガス混合比変化； 0.67 Pa〕  
(注)膜厚(μm)=堆積速度(nm/s)×0.9

ところで、さらに良好な再現性を得るためにはどのような方を講じればよいだろうか、すでに膜質制御が困難な背景については第 2 章でも一部触れたが、ここではもっと具体的な例を挙げてみたい。図 16 は各プロセス・パラメータ値を種々変化させてチタン窒化物皮膜を形成させたとき、基板電流が被覆中に変動する様子を被覆処理回数に対して示したものである。図中の黒印はパラメータ値の変化によって基板電流が影響されるもの、白印は影響されないものを示している。被覆開始時の基板電流は小さいが、被覆時間とともに漸増し、通常は被覆終了時に最大となる。注目すべきは、蒸発源のチタン全部を更新した(調整なし)直後の被覆における基板電流は全体的に小さいが、消耗した量だけのチタンを補給しながら被覆処理回数を重ねていくと、被覆開始前後の基板電流はともに上昇し、あるレベルの変動範囲に落ち着くようになる。この基板電流が落ち着いた時期に作製した皮膜では硬さや応力などが比較的バラツキのない膜質を示す。このような蒸発源更新後に見られる経時変化を抑制するには、蒸発源を更新したときに、あらかじめ電子ビーム電流を大きくして溶解し、チタンがルツボになじむようにする。このような調整を行うと(図 16 の調整有り)、蒸発源更新直後からでも基板電流は安定する。この状態で電気量管理による被覆を行うと、膜厚および膜質ともにバラツキの少ない皮膜を得ることができる。

## 6. まとめ

どのような化合物を被覆するかを考えると、通常はそのバルク材における特性を参考にして選定することが多い。しかし予想したような機能が得られることはむしろ少ない。それは皮膜とバルク材では根本的に異なるものが存在するからである。被覆効果を最大限に発揮させるためには、皮膜とバルク材では何が同じで、何が異なるのかを常に視野に置きながら技術開発を行っていくことが重要である。なお被覆後の皮膜改質処理<sup>46)</sup>および TiN 皮膜の腐食環境に対する遮断性<sup>27)</sup>については割愛したが、それらは各文献を参照頂ければ幸いである。

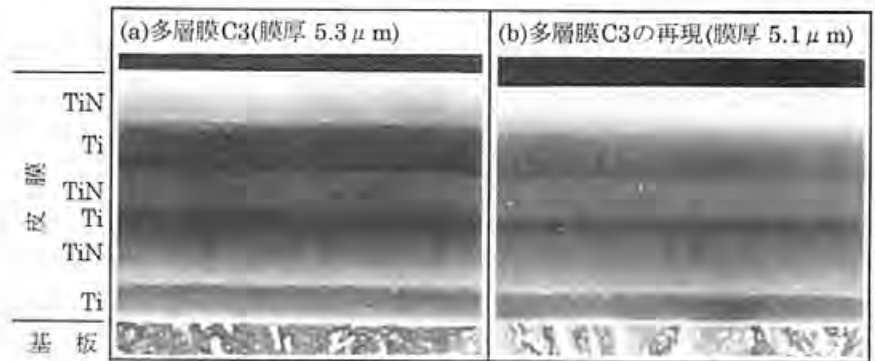


図15 多層膜C3およびその再現膜の積層状態(基板:Cr-Mo鋼) 2 μm

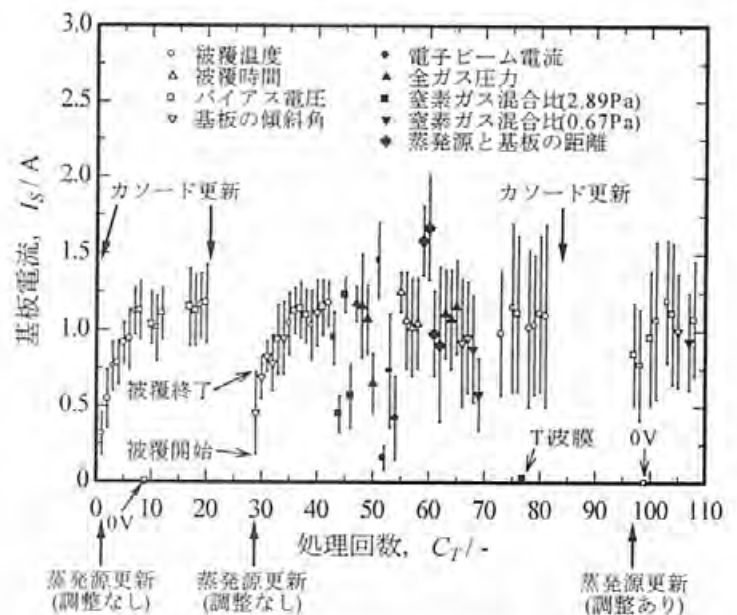


図16 装置使用履歴による基板電流 $I_s$ の変化

## 参考文献

- 1) 竹田博光 編, セラミック コーティング, 日刊工業新聞社, (1988)
- 2) 精密工学会 表面改質に関する調査研究分科会 編, 表面改質技術・ドライプロセスとその応用, 日刊工業新聞社, (1988)
- 3) 精密工学会・硬質膜の形成と応用に関する調査・研究分科会 編, スーパーコーティング 硬質膜の機能と利用技術, 大河出版, (1992)
- 4) 社団法人 表面技術協会 編, PVD・CVD 皮膜の基礎と応用, 横書店, (1994).
- 5) 三浦健一, 石神逸男, 久野正人, 水越朋之, 浦谷文博, 金田博之, 小川倉一, 日本真空協会関西支部 平成 8 年度第 2 回研究例会資料, 13, (1996)
- 6) 『小特集/表面処理と処理層の内部応力』, 表面技術, 43, No.7, (1992)

- 7) 馬来国弼, 応用物理, 57, 16, (1988)
- 8) 金原 燦, 馬場 茂, 表面技術, 41, 485, (1990)
- 9) 金原 燦, 藤原英夫, 薄膜, 127, 裳華房, (1989)
- 10) H. Windischmann, J. Vac. Sci. Technol., A9, 2431, (1991)
- 11) J.-E. Sundgren, Thin Solid Films, 128, 21, (1985)
- 12) 村川正夫, 渡部修一, 三宅正二郎, 表面技術協会第 82 回講演大会講演要旨集, 124, (1989)
- 13) 三浦健一, 石神逸男, 久野正人, 金田博之, 日本金属学会誌, 59, 303, (1995)
- 14) 石神逸男, 三浦健一, 久野正人, 水越朋之, 浦谷文博, 日本熱処理技術協会第 40 回講演大会講演概要集, 49, (1995)
- 15) B.A. Movchan, A.V. Demchishin, Fiz. Metal. Metalloved., 28, 653, (1969)
- 16) J.A. Thornton, J. Vac. Sci. Technol., 11, 666 (1974); 12, 830, (1975)
- 17) R. Messier, A.P. Giri, R.A. Roy, J. Vac. Sci. Technol., A2, 500, (1984)
- 18) 王 東冬, 村田英昭, 沖 猛雄, 表面技術, 41, 382, (1990)
- 19) D.D. Wang, Takeo Oki, J. Vac. Sci. Technol., A8, 3163, (1990)
- 20) 王 東冬, 沖 猛雄, 表面技術, 41, 823, (1990)
- 21) 門 哲男, 真壁遼治, 望月昭一, 中島貞夫, 荒木道郎, 防食技術, 36, 551, (1987)
- 22) 三浦健一, 石神逸男, 星野英光, 水越朋之, 上田順弘, 浦谷文博, 日本熱処理技術協会第 46 回講演大会講演概要集, 67, (1998)
- 23) 石神逸男, 三浦健一, 網沢栄二, 熱処理, 33, 35, (1993)
- 24) C.C. Cheng, A. Erdemir, G.R. Fenske, Surf. Coat. Technol., 39/40, 365, (1989)
- 25) C.C. Cheng, A. Erdemir, G.R. Fenske, US DOE Rep., (1989)
- 26) A. Erdemir, C.C. Cheng, Surf. Coat. Technol., 41, 285, (1990)
- 27) C.M. Van Thoor, A.J. Hemsworth, G.M. Nicholas, M.R. Crispin, J. Mater. Sci., 26, 1311, (1991)
- 28) M. Van Stappen, B. Malliet, L. De Schepper, L.M. Stals, J.P. Celis, J.R. Roos, Surf. Eng., 5, 305, (1989)
- 29) U. Helmersson, B.O. Johansson, J.E. Sundgren, H.T.G. Hentzell, P.E. Billgren, J. Vac. Sci. Technol., A3, 308, (1985)
- 30) D.S. Rickerby, R.B. Newbery, Proc. IPAT 87, Brighton, 206, (1987)
- 31) K.T. Hyum, H.H. Joo, B.H. Hahn, Surf. Coat. Technol., 39/40, 409, (1989)
- 32) 財団法人プラスチック技術振興センター, 西日本プラスチック成形技術開発協同組合, 平成 6 年度 中小企業知識集約化支援共通基盤技術開発事業 成果報告書「金属・プラスチック材料の高機能化を図るためのイオン照射技術の確立」, 85, (1994)
- 33) 三浦健一, 石神逸男, 星野英光, 浦谷文博, 上田順弘, 平成 9 年度大阪府立産業技術総合研究所研究発表会要旨集, 90, (1997)
- 34) 石神逸男, 三浦健一, 久野正人, 水越朋之, 浦谷文博, 日本熱処理技術協会第 42 回講演大会講演概要集, 7, (1996)
- 35) 石神逸男, 三浦健一, 久野正人, 佐藤幸弘, 網沢栄二, 日本熱処理技術協会第 35 回講演大会講演概要集, 35, (1992)
- 36) 金 桂京, 于 力, 戴 少侠, 于 志明, 金属学報, 26, B16, (1990)
- 37) 村上正紀, 日本金属学会報, 29, 240, (1990)
- 38) 石神逸男, 網沢栄二, 浦谷文博, 特許第 2052988 号
- 39) 石神逸男, 三浦健一, 久野正人, 横山雄二郎, 上田順弘, 浦谷文博, 小川倉一, 日本真空協会第 37 回真空に関する連合講演会講演予稿集, 1, (1996)
- 40) 久野正人, 石神逸男, 三浦健一, 小川倉一, 日本熱処理技術協会第 42 回講演大会講演概要集, 11, (1996)
- 41) 山本兼司, 中山武典, 泊里治夫, 佐藤廣士, 気相コーティングによる鉄鋼の表面高機能化, 129, 日本鉄鋼協会, (1995)
- 42) R. Hubler, A. Schroer, W. Ensinger, G.K. Wolf, W.H. Schreiner, I.J. Baumvol, Surf. Coat. Technol., 60, 561, (1993)
- 43) 石神逸男, 三浦健一, 星野英光, 水越朋之, 上田順弘, 浦谷文博, 日本熱処理技術協会第 46 回講演大会講演概要集, 69, (1998)
- 44) 石神逸男, 三浦健一, 星野英光, 水越朋之, 上田順弘, 浦谷文博, 日本熱処理技術協会第 44 回講演大会講演概要集, 35, (1997)
- 45) 星野英光, 石神逸男, 三浦健一, 上田順弘, 日本熱処理技術協会第 46 回講演大会講演概要集, 29, (1998)
- 46) 星野英光, 石神逸男, 三浦健一, 大森直之, 特願平 10-071762

# 水晶圧電式切削動力計による切削性能の評価

## *Evaluation of Cutting Quality by Quartz Force Cutting Dynamometers*

大山 博・ 北口 嘉亮・ 藤原 久一・  
*Hiroshi Oyama Yosiaki Kitaguchi Hisacazu Fujiwara*

(1998年10月30日 受理)

キーワード：水晶圧電式，動力計，切削力，切削抵抗，工具，被削材，切削油

### 1. はじめに

わが国の製造業は、機械加工の自動化、高速化、高精度化などの追求と、熟練技術者の不足や若い人の製造業離れなどの社会的環境の変化などに伴い、機械加工における加工条件の最適化やデータベースの充実への要望が強い。また、多様な新しい材料や難削材の開発に伴い、材料特性の測定技術と評価技術の確立、さらに、製品製作時に於ける品質と信頼性の向上や生産性の向上などの期待も大きい。

当研究所では、昭和54年から切削加工や研削加工、ドリル加工やタップ加工などの切削や研削抵抗を測定するシステムを導入して、加工条件の最適化や加工特性の把握、製品開発に関わる性能評価などの依頼試験を実施してきた。近年は、鉄鋼・非鉄などの金属から樹脂や木材、複合材料などの材料開発関連企業や切削工具の製造販売の企業、切削油開発企業などから持ち込まれる依頼試験が多い。技術的には、試験条件が厳しくまた複雑化する傾向にあり、さらに、切削抵抗の大きさや変動を高精度に計測し、迅速なデータ収集と正確な分析、適切な評価が求められている。

### 2. 切削力を測定する重要性

切屑除去加工である切削は、機械加工における最も重要な技術の一つであり、生産方法が進歩するにつれて機械や工具に対する要求もそれぞれ高度になっている。

効果的な切削とは、最適な切削工具と最適な切削条件により、工作機械の能力を十分に引き出すことである。したがって、最適切削条件を確立しなければ自動化による加工や無人運転による加工が難しくなる。

最適切削条件を確立するには、以下のような取り組みが必要である。

- 1) 熟練技能者の経験やノウハウである実績データと多くの実験データを積み重ねて信頼性の高い切削加工データを育て上げる。
- 2) 実験データを得る一つの方法として、実加工に近い環境を整え、実績データを参考にしながら、色々な条件によって切削試験をおこなう。
- 3) 切削試験では、加工条件の違いによる切削力の大きさや方向を測定しながら、工具摩耗や被削材表面の状況などを観察する。

切削力の大きさや微妙な変動、作用する力の方向に影響を与える因子としては、切削速度、送り速度、切り込み深さ、被削材質、工具材質、工具形状、冷却材、機械の剛性など多様であり、これらによる複雑な切削現象を正しく把握して加工の力学を明確にすることが切削力を測定する目的である。

従って、切削力の全成分を測定できる動力計は、研究開発、工具などの製造、生産技術の向上にとって強力な武器になると言える。

### 3. 水晶圧電式切削動力計

ほとんどの力の測定システムは、力の大きさに比例して弾性変形の生じる弾性体を採用している。この変形を

\* 生産技術部 機械加工グループ

インダクタンス、キャパシタンス、抵抗の変化に置き換えて間接的に測定するシステムが切削動力計である。

現在市販されている切削動力計には、ひずみゲージ式の動力計と水晶圧電式の動力計がある。極一部ではあるが、静電容量を測定して切削力とする動力計や微小変位を測定して切削力とする動力計が利用されている。しかしこれらは、特殊な動力計である。

1880年キューリー兄弟によって、ある種の結晶に機械的な圧力を加えると、その表面に電荷が発生することが発見された。これが圧電効果であり、この効果を示すものとして、水晶、ロッシェル塩、チタン酸バリウムなどの結晶が知られている。

水晶は、圧電効果をもつ結晶の中でも、優れた安定性と剛性の高さで、力を測定するセンサーとしての適応性は群を抜いている。ただし、水晶の結晶配列は、異方性であり物理特性が方向によって異なっているので、この性質に注目してセンサー素子として利用することを可能にする加工技術が必要である。

図1に水晶円板の模式図を示す。切断する方向によって、圧力にのみ感応（縦効果）する円板や一方向のせん断力に感応（せん断効果）する円板を作ることができる。

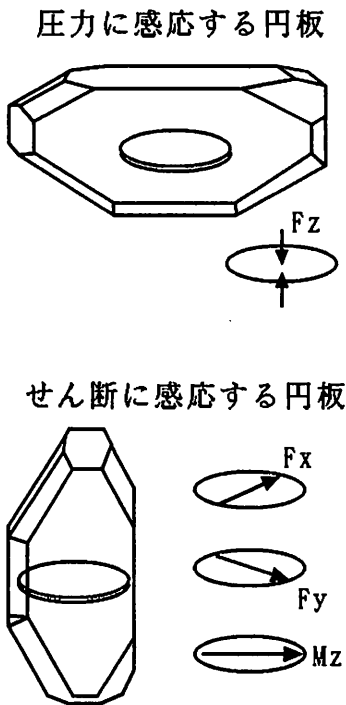


図1 切断方向と水晶円板

図2に圧電リングの模式図を示す。切断された円板を規則正しく整列させて圧電リングを作る。たとえば、圧力に感応する円板だけを円周上に配列した圧力リング

(Fzリング)、せん断力に感応する円板を一方向に配列したせん断力リング (Fx, Fyリング)、せん断力に感応する円板の軸を接線方向に配置したトルクリング (Mzリング) などがある。

圧電効果による力の測定は、変形をともなう測定方法と根本的に異なる。測定時の素子の変形は、全負荷をかけたときでも数マイクロンの変形である。極めて高い剛性があり高い共振周波数が得られる。その結果、高速現象でも容易に測定できる。

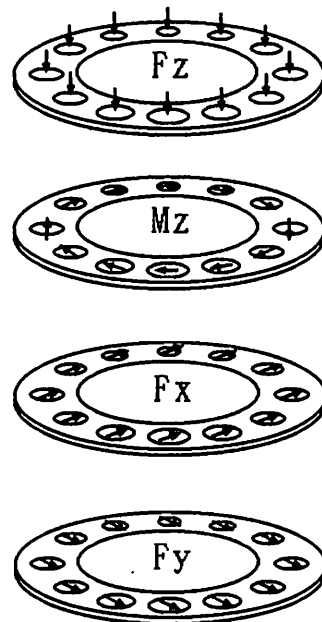


図2 各種の圧電リング

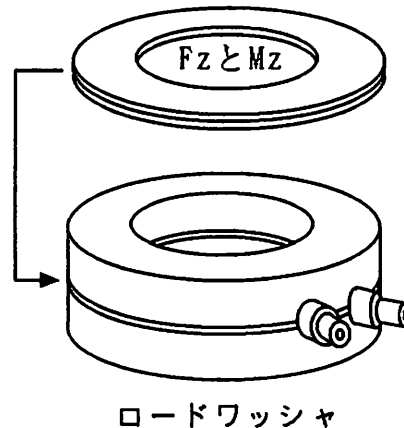


図3 2成分のロードワッシャー

図3は、2成分を測定するロードワッシャーである。圧力に感応するFzリングと接線方向に感応するMzリングを組み合わせてハウジングで挟み込む。これが2成分 (Fz,

Mz) のロードワッシャーである。このロードワッシャーを内蔵した動力計では、ドリル加工やタップ加工、リーマ加工などのトルクやスラストの力が測定できる。

同じ様に、せん断力に感応する2枚のリングで、それぞれの感応軸を直交させて、圧力に感応するリング1枚と合わせると、3成分 (Fx, Fy, Fz) を測定するロードワッシャーができる。このロードワッシャーを4個配置した動力計が、フライス加工や研削加工の切削抵抗を測定するテーブルタイプである。そのほかにも旋削加工用の動力計もある。

その他、水晶圧電式切削動力計の一般的な特徴として、

- ・剛性および固有振動数が高い
- ・広い測定範囲
- ・優れた直線性、小さいヒステリシス
- ・小さいクロストーク (1%未満)
- ・容易な取り扱い
- ・小型
- ・長寿命
- ・保護等級IP67

等をあげることができる。

水晶圧電効果を利用した力の測定では、負荷面に発生した電荷を計測しなければならない。この電荷は、極短時間で無くなるため、電荷の大きさに応じた電気信号として取り出す必要がある。この処理をチャージアンプ (電荷増幅器) が行い電荷の大きさに応じた電圧の変化として出力し、この出力端子に、各種計測機器を接続して電圧の大きさを力の大きさとして観察する。

#### 4. 水晶圧電式切削動力測定装置の構成

本装置は、スイス・キスラー社が開発した高精度なユニットである。国内・国外を通じてキスラー社以外に同種の製品はなく、世界的に信頼されている動力計である。国内でも、国公立の研究所や公設試験研究機関、大学、工具メーカ、油剤メーカ、材料メーカなどの研究開発部門などで利用されている。

力の検出には、水晶圧電素子を用いているため、数グラムから数トンまでの静的な力と動的な力を測定することができる。

前述のように水晶圧電式切削動力計は、非常に剛性が高く、固有振動数も高いため、力の変動が数kHzの速さでも計測が可能である。また、2kN~4kNの荷重で1 $\mu$ m程度の変位量しか必要としないため、弾性による測定誤差が無く精度の高い測定ができる。

当研究所では昭和40年代は、ひずみゲージ式の動力計により、切削抵抗の測定をおこなっていた。しかし、昭和54年に切削加工全般の切削抵抗を測定する動力計とし

て、スイス・キスラー社の水晶圧電式切削動力計と波形処理用のミニコンピュータを導入した。

切削動力計は、旋削加工用の3成分動力計9263A、フライス加工や研削加工用の3成分動力計9257A、ドリル、リーマ、タップ加工用の4成分動力計9273、また、チャージアンプ5001 (4台) も導入した。

さらに平成8年の研究所移転にともない、より多くの企業の方々にご利用いただけるよう、水晶圧電式切削動力測定装置を一新した。これにより測定可能範囲の拡大と計測精度の向上、データ処理の迅速化など適切な評価技術の確立が図られることとなった。

また、測定データの高精度・高速処理、分析や解析技術の多様性、グラフ化やデータベース化への処理機能の充実が実現した。

以下に主要な装置の概要と技術データ (表1) を示す。

##### (1) 3成分動力計 9265B (図4)

重切削の旋削加工に最適の堅牢な動力計で冷却液流路を内蔵している。ツールホルダを動力計の上面にネジ止めして、シャンク断面最大32 $\times$ 32のバイトが取り付け可能である。

##### (2) 3成分動力計 9255B (図5)

堅牢な構造であり、フライス加工や研削加工の切削力の測定ができる。動力計の上面は、260 $\times$ 260の大きさがあり、M12の取り付け用ネジ穴がある。

##### (3) 4成分動力計 9272 (図6)

小型、堅牢でドリル加工、タップ加工、リーマ加工などの穴明け用として開発された。トルクとスラストの他にx方向、y方向の力も測定できる。

##### (4) 回転式動力計 9123B (図7)

回転工具に作用する直行3成分 (Fx, Fy, Fz) および駆動トルクMzを直接検出する動力計である。測定データは、信頼性の高い非接触方式で伝送する。加工物の大きさや工具の位置に関係なく切削力の測定が可能である。

##### (5) マルチチャンネルチャージアンプ 5019A (図8)

マルチチャンネルチャージアンプは、水晶圧電式切削動力計には不可欠なアンプであり、力の変化を電気信号として取り出すためのチャージアンプである。チャージアンプの出力電圧は $\pm 10$ Vであり、圧電式の加速度計にも利用できる。

感度調整や測定レンジの設定、ローパスフィルターの設定、時定数の決定などが液晶ディスプレイで確認しながら入力ができる。また、測定範囲を越えると自動的に保護回路が働きオーバーロードの警告を発する。

各種動力計との接続には、密閉性に優れた金属保護管付きの特殊ケーブルが使われている。

##### (6) その他の計測機器

動力計以外の計測機器として、8chデータレコーダ、4

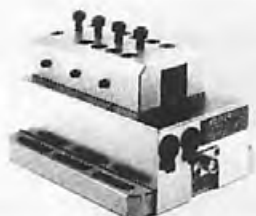


図4 3成分動力計 9265B



図5 3成分動力計 9255B



図6 4成分動力計 9272



図7 回転式動力計 9123B



図8 マルチチャンネルチャージアンプ 5019A

表1 水晶圧電式動力計の技術データ

仕様項目	形式	3成分動力計 9265B	3成分動力計 9255B	4成分動力計 9272	仕様項目	形式	回転式動力計 9123B
測定範囲	: Fx, Fy	-15kN~15kN	-20kN~20kN	-5kN~5kN	測定範囲	: Fx, Fy	-5kN~5kN
	: Fz	-10kN~30kN	-10kN~40kN	-5kN~20kN		: Fz	-20kN~20kN
	: Mz			-200Nm~200Nm		: Mz	-200Nm~200Nm
感度	: Fx, Fy	-8pC/N	-8pC/N	-7.6pC/N	最高回転数: n		7000min <sup>-1</sup>
	: Fz	-3.7pC/N	-3.7pC/N	-3.8pC/N			
	: Mz			-1.6pC/Nm			
	剛性	: Cx, Cy	1kN/μm	2kN/μm		0.4kN/μm	剛性
	: Cz	2kN/μm	3kN/μm	2.0kN/μm	: Cz	1.5kN/μm	
	: CMz			70Ncm/μrad	: CMz	32Ncm/μrad	
固有振動数	: fo (x, y)	1.7kHz	2.0kHz	3.0kHz			
	: fo (z)	2.7kHz	3.3kHz	6.0kHz			
	: fo (Mz)			4.0kHz			



chデジタルオシロ, 4chデジタルレコーダを導入した。

8chデータレコーダ (RD-180T) は, チャージアンプから出力される電圧波形を保存する。デジタル記録ができるDAT規格を採用しSN比の向上を図っている。

4chデジタルオシロ (DL2240) は, 最高200MHzの速さで4ch同時サンプリングが可能であり, 波形解析に必要な微積分, デジタルフィルター, FFT演算, 2値化処理などの豊富な演算機能を有している。

4chデジタルレコーダ (RT3108N) は, サーマルヘッドによる感熱式の記録計である。リアルタイム記録, メモリ記録, X-Y記録, 数値化記録などのモードがあり, 最高4 $\mu$  secの同時サンプリングが可能である。各チャンネルの最大サンプリング数は32000点である。また, サンプリングされた波形データは, 通信機能により外部に転送できる。パソコンに取り込んだ波形データは, 演算処理や統計処理さらにグラフ化などが容易にできる。また, 市販されている表計算ソフトなどの利用も可能である。図9に導入機器の構成を示す。

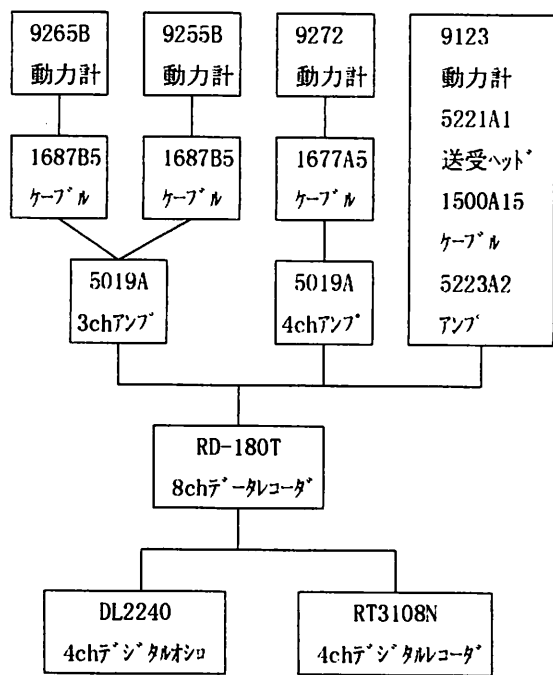


図9 導入機器の構成

### 5. 切削試験の事例と評価

切削状況を的確に評価する熟練技能者は, 機械や工具の性能や癖を把握しつつ, 切削中の音, 機械や工具の振動, 製品の仕上げ面, 切り屑の状態などから多くの情報を得ている。

視覚と聴覚から得られる情報を整理して, 過去の経験と照らし合わせて, 適当か不適当かの判断により切削条件や工具形状を変更し, 好ましい切削状態を保っている。

これは, 人間の持つ高度なパターン認識力と適応能力の高さによるものである。

水晶圧電式切削動力計から得られる情報は, 工具と被削材の間でおこる切削力の大きさと変動を電圧波形として測定される。

切削抵抗の情報だけで切削状況の全てを判断することは難しいが, 切削抵抗に影響を与える多様な要因から比較的の影響が強いと考えられる項目に注目して, 切削試験をおこなっている。

#### (1) 快削黄銅の被削性能試験

この試験は, 旋削加工用の3分力動力計とNC旋盤で実施した切削試験である。材料成分の違いや熱処理条件の違いによる13種類の快削黄銅について, 超硬真剣バイトにより外形削りをおこなった事例である。今回は, その中から6種類のデータを選びグラフ化した。

被削材外径5mm, スクイ角8度, 主軸回転数2000 $\text{min}^{-1}$ , 切り込み量0.5mm, 送り速度0.08mm/rev, 乾式などの条件を一定とした切削試験である。

図10は, データ処理の模式図を示す。

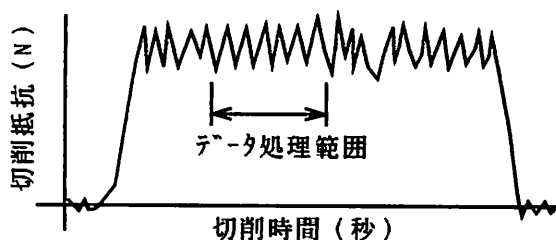


図10 データの取り込み

1回の切削時間は約12秒である。切り始めから3秒後に信号を発生して, そこから4秒間のデータをコンピュータに取り込んでいる。そのデータにより統計処理(平均値, 標準偏差)をおこなった。切削抵抗は, 主分力, 送り分力, 背分力の3方向に分けて測定する。

図11に送り分力の平均値と標準偏差の大きさを示す。また, 図12に主分力の平均値と標準偏差の大きさを示す。

線の長さが標準偏差であり, 線の中央が平均値を示している。

送り分力と背分力は, 6種類とも同様の傾向を示す。主分力では, 被削材5と6の傾向が逆転している。しかし, 標準偏差値は被削材5の方が小さい。被削材5の刃先には, 被削材6に比べると合力で1割程大きな力が作用しているが, 変動の少ない安定した切削抵抗である。

被削材6が従来品の黄銅棒である。被削材5は, 熱処理温度と時間の調整で改善された材料である。被削材1~4の材料は, 快削性を向上するために, 鉛の添加比率を少し変えた材料である。切削抵抗の大きさと変動から判断すると被削材1が最も削り易い材質であると言える。

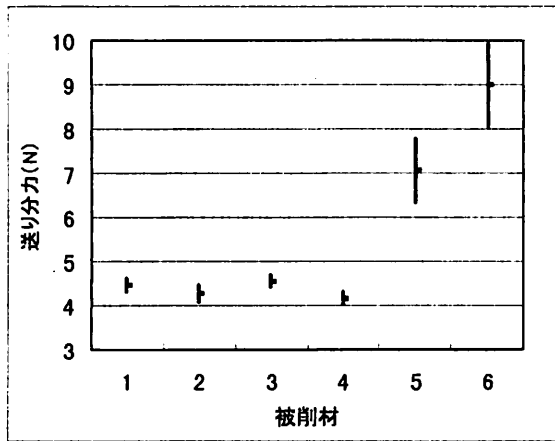


図11 送り分力の平均値と標準偏差

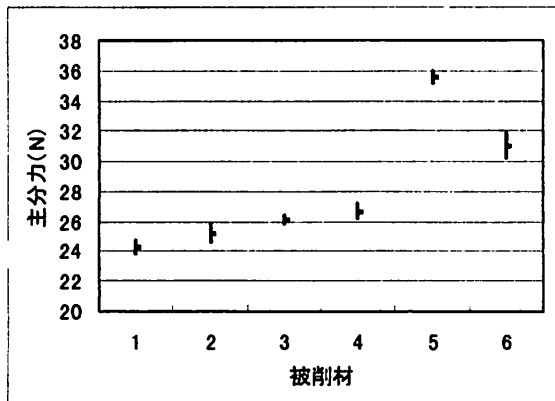


図12 主分力の平均値と標準偏差

の条件により、トルクとスラストの力を測定した。

図13と図14にトルクとスラストの測定結果を示す。力の測定位置は、ドリルの肩が被削材上面から5mm下がってドリルの挙動が安定した所から約1.8秒間である。

この切削試験は、他社製品と自社製品の比較をすることが目的である。被削材1~3は他社製品であり、全てメーカーが異なる。

被削材4と5が自社製品であり、被削材4は従来品5の切削性を改善した材料である。

従来品では、他社製品に比べると切削性が良いとは言えない。改善された被削材4の製品は、他の2社より切削抵抗が下がっているが、被削材3のメーカーには追いついていない。

材料特性を損なわずに、被削性の向上を目指す努力はこれからも必要である。

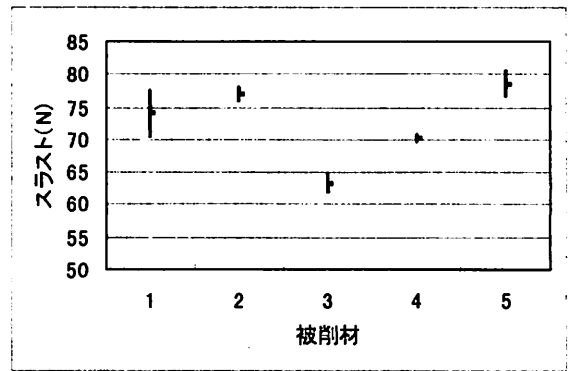


図14 被削材の違いによるスラストの変化

(2) アルミニウム合金の被削性能試験

この試験は、穴加工用の4分力動力計と治具中ぐり盤で実施した切削試験である。材料成分の違いによる5種類のアルミニウム合金に対するドリル加工の被削性を調べた事例である。

被削材の大きさは、直径25mm・長さ30mmとして、動力計に取り付けたスクロールチャックで保持した。

直径10mmのストレートシャングドリルで、主軸回転数1250min<sup>-1</sup>、送り速度0.15mm/rev、不水溶性切削油使用

(3) 水溶性切削油剤の違いによるトルクの変化

この試験は、穴加工用の4成分動力計とタッピングマシンにより実施した。タップ加工において切削油剤の違いにより、どれだけ切削抵抗が減少するかを調べた。

被削材は、ADC-12で工具摩耗の激しい材料である。工具は、M8の転造タップである。転造タップの下穴径は直径7.5mm、主軸回転数1800min<sup>-1</sup>、クーラント流量2L/min、希釈率20倍として水溶性切削油剤5種類を試験した。

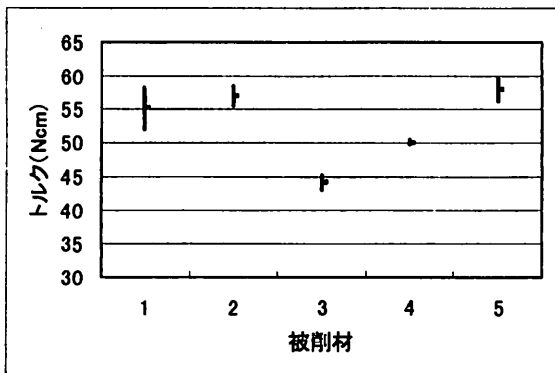


図13 被削材の違いによるトルクの変化

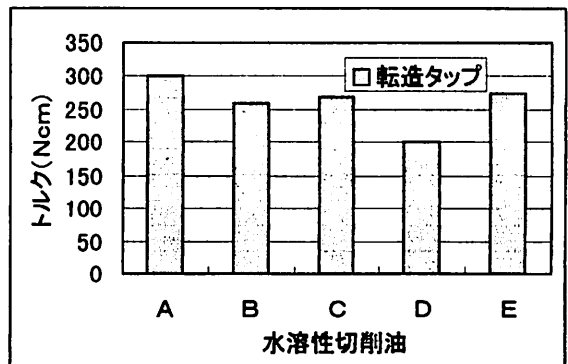


図15 切削油剤の違いによるトルクの変化

図15に切削油剤の違いによるトルクの変化を示す。

5種類の水溶性切削油の中で油剤Cだけがソリュブルであり、他の4種類はエマルジョンである。

水溶性切削油剤は、種類の多い切削油である。ベースオイルの他に界面活性剤、添加剤などの種類や配合割合によって色々な油剤が開発されている。

今回の試験は、塩素系と硫黄系の2種類の添加剤の配合の違いによるトルクの変化を調べた。

油剤Aは、添加剤が含まれていない。塩素系の添加剤は、油剤Dに5%含まれている。硫黄系の添加剤は、油剤Bと油剤Cに0.3%、油剤Dと油剤Eに0.2%含まれている。

両添加剤が含まれる油剤Dのトルクは、他の油剤より20~30%程度減少している。これは、油剤Dに含まれる塩素系の添加剤が影響していると考えられる。

しかし、主軸回転数を $3000\text{min}^{-1}$ や $4000\text{min}^{-1}$ に上げると油剤間の差が少なくなり、 $250\text{Ncm}$ ~ $300\text{Ncm}$ の間に集まる。これは、回転速度が速すぎて、水溶性切削油が転造タップの刃先に十分供給されないことが原因である。

**(4) エンドミル加工の工具摩耗と切削抵抗**

この試験は、フライス加工用の3分力動力計とNCフライス盤を利用した。エンドミルによる側面加工において、時間の経過に対する工具摩耗の状況と切削抵抗の変化を調べた。

図16は、エンドミル加工の模式図を示す。切削方向は、上向き削りである。被削材は、SUS304の角材を動力計に取り付けられた治具に固定した。

エンドミルは、粉末ハイスの2枚刃で外径12mmの標準品である。軸方向切り込み $A_d=12\text{mm}$ 、半径方向切り込み $R_d=1.5\text{mm}$ 、切削速度 $V=18\text{m/min}$ 、送り速度 $F=95\text{mm/min}$ 、切削油JIS2種6号相当品の条件で1時間の切削試験をおこなった。その間、5分毎に切削抵抗と工具摩耗を測定した。工具摩耗は、エンドミル外周刃の刃先端と中央部の2箇所の摩耗を測定した。

図17に工具摩耗の変化、図18に $F_y$ と $F_z$ の切削抵抗の変化、図19に $F_z$ の切削抵抗の変化をそれぞれ示す。

エンドミルの側面加工は、底刃と外周刃の両方で削っているが、切削抵抗に影響を及ぼすのは外周刃である。

エンドミルの側面加工では、切削中に曲げの力が作用している。その力の大きさと曲げの方向は、上向き削りか下向き削りかの違い、軸方向の切り込み $A_d$ や半径方向の切り込み $R_d$ の大きさで変化する。

径方向の切り込み量が少ないときは、ワークから逃げる方向(- $F_y$ )へ曲げる力が発生する。反対に切り込み量が大きいとワークに食い込む方向( $F_y$ )に曲げる力が発生する。両方向ともチッピングや欠損の原因となる。

エンドミル加工は、短時間の間に曲げの力が繰り返し加わり、強制的な振動を与えられている不安定な加工で

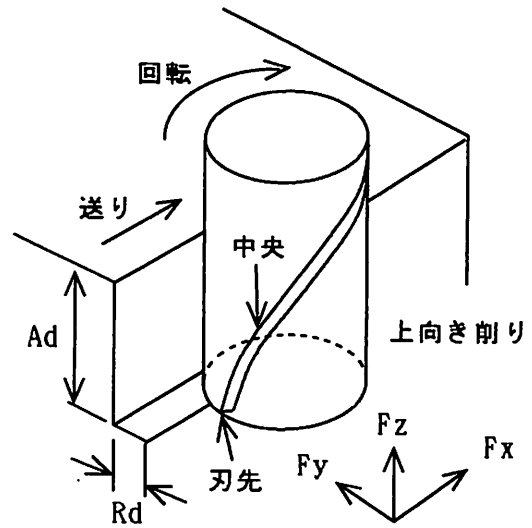


図16 エンドミル加工の模式図

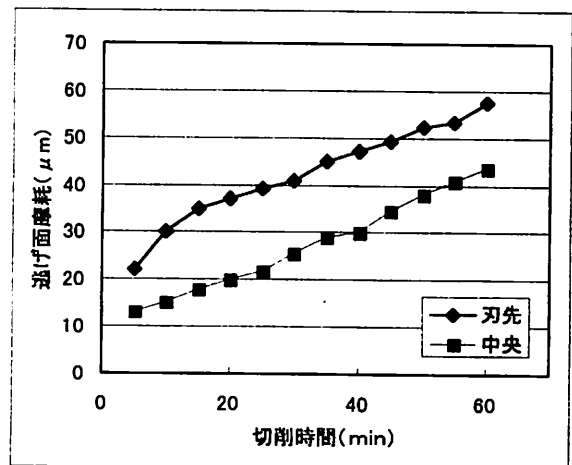


図17 工具摩耗の時間的变化

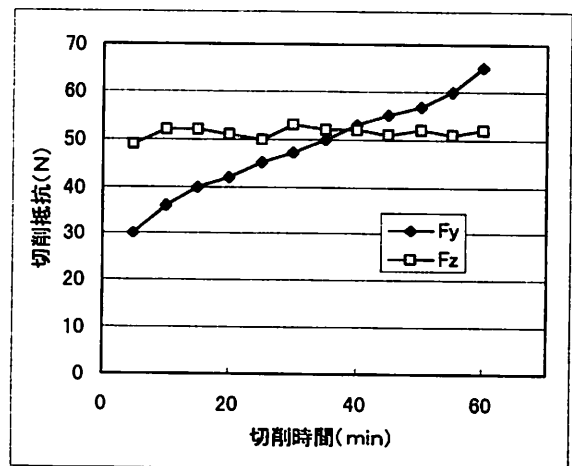


図18 切削抵抗の時間的变化 ( $F_y$ ・ $F_z$ )

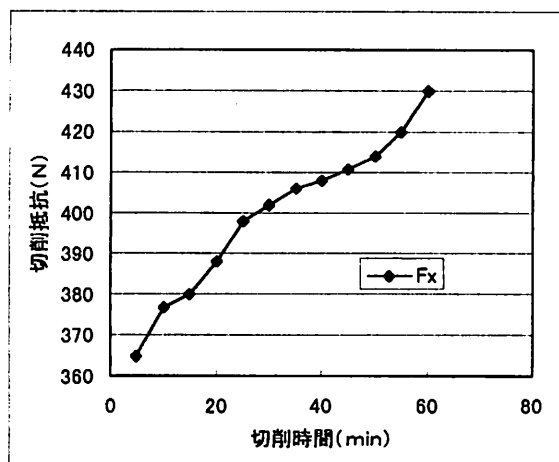


図19 切削抵抗の時間的变化 (Fx)

ある。曲げの力は加工面の形状精度を著しく悪くする原因の一つである。

SUS304のエンドミル加工では、チッピングや欠損、工具摩耗が非常に多いことが知られているが、この試験では、工具摩耗も順調に増加し比較的トラブルも少ない。これは、加工中に加わる曲げの力が小さくなる加工条件 ( $R_d=1.5$ ) が設定されているからである。

エンドミルに余分な曲げの力を与えない切り込みとは、工具直径の $1/8 \sim 1/6$ が良いと言われている。この値は、切削試験や切削抵抗の計算式などからも確認されている。

工具摩耗の増加に伴って、切削抵抗 $F_x$ と $F_y$ も同様に大

きくなっている。また、1時間の切削で切削抵抗 $F_y$ は2.2倍、 $F_x$ は約1.2倍に達している。なお、軸方向の切削抵抗 $F_z$ が、ほとんど増加していないのは底刃の摩耗が進んでいないためである。

## 6. おわりに

当研究所は、開放と交流を基本理念として、最新の施設設備や先進設備を幅広く開放しています。

今回の水晶圧電式切削動力計も企業の方々にご利用いただいておりますので、依頼試験、機器使用、受託研究など幅広い体制で協力いたします。

水晶圧電式切削動力計は、静的な力から動的な力、小さな力から大きな力まで一台の動力計で測定することが可能です。また、計測装置の設定は、機械加工以外の分野の方でも、扱いやすく理解し易い形になっています。欧州や米国などでは、この水晶圧電式切削動力計を医療関係やバイオメカニクスの研究など、切削加工以外にも利用されています。

## 参考文献

- 1) 加工技術データファイル、(財)機械振興協会技術研究所、総説第1巻～2巻(1977)

# 技 術 論 文



## 綿粉末の銀コロイド処理と抗菌性

*Cotton Powder Adsorbed Colloidal Silver  
and Antibacterial Activity*

近藤 敬\*      高塚 正\*      上甲恭平\*\*  
Takashi Kondo    Tadashi Takatsuka    Kyohei Joko

(1998年10月7日 受理)

We examined the method which changed cotton powder into the functional material by making it adsorb silver colloid. Cotton powder was found to adsorb silver to a great extent by being dipped in silver colloidal solution in the presence of cationic surfactant. It was found that the cotton powder adsorbed silver showed fungus resistance to aspergillus niger, penicillium citrinum and antibacterial activity of staphylococcus aureus, klebsiella pneumoniae, escherichia coli.

キーワード：綿粉末, 銀, コロイド溶液, 界面活性剤, かび抵抗性, 抗菌性, 菌生育阻止円  
最小増殖阻止濃度

## 1. はじめに

われわれの身の回りにはたくさんの菌があり、細菌やかびに囲まれて生活しているといっても過言ではない。そのため生活環境をクリーンにする目的で抗菌、防かびおよび防臭が脚光を浴びている。抗菌剤には大別して第4級アンモニウム塩などの有機系と銀・銅・亜鉛等の重金属系とがある。重金属の抗菌性は、金属本来の毒性や殺菌性によるものではなく、金属イオンが直接に、あるいは金属の触媒作用でできた活性酸素が菌の細胞膜のたんぱく質に吸着して細胞の構造破壊をおこしたり、菌のエネルギー代謝を不能にすると考えられている。なかでも銀はイオン化傾向も小さく、安定であり、食器等に使用されている。一方、日常生活において天然繊維素材の生活用品が多量に使用されて、とくに綿素材は大阪府下の繊維産業において織物原料として用いられている。しかし、織物製造時などにおいて大量の綿繊維屑が排出され問題になっている。綿繊維屑の主成分であるセルロースは全有機物の中で、その存在量は最も多く、省資源の時代において見逃すことのできない大切な化合物である。われわれは綿繊維屑から作製した綿粉末をより付加価値

の高い機能化素材とするため、銀を吸着させた抗菌性粉末を作製する方法について検討した。さらにその粉末のかび抵抗性、抗菌性について基礎的な評価が得られたので報告する。

## 2. 実験方法

## (1) 綿粉末

綿粉末は、メリヤス生地の縫製時にできる繊維屑を約0.5mm程度の綿繊維粉末にし、さらに遊星型ボールミルで粉砕することにより作製した。綿粉末の特性を表1、形状を図1に示す。なお、見掛密度はJIS K 5101 (顔料試験法)に規定された静置法による見掛密度測定法に準じ、また平均粒径は日機装(株)のマイクロトラック粒度分析計 Model FRA の粒度分布測定から得られた体積平均径で求めた。色は目視により判断した。分子量は30℃で9%LiCl/DMAc 溶液について極限粘度を求めて算出した。

表1 綿粉末の特性

Characteristic of cotton powder	
見掛密度 (g/ml)	0.25
平均粒径 (μm)	31
色	白色
分子量	448000

\* 生産技術部 繊維加工グループ

\*\* 京都女子大学

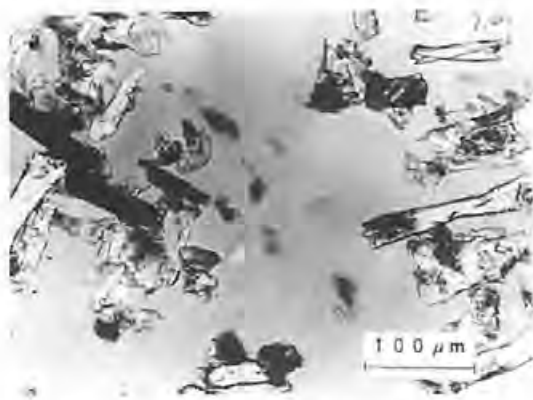


図1 綿粉末の顕微鏡写真

Micrograph of cotton powder

## (2) 銀吸着綿粉末の作製

抗菌性を有する金属を繊維粉末に吸着させるには、金属をコロイド微粒子とし繊維粉末に吸着させる方法がある。今回はこの方法を利用し、さらに抗菌性を有する金属として銀を用いた。銀コロイド溶液を長時間保存しても凝集・沈殿を起こさないよう安定化させるため、中尾ら<sup>1)</sup>の方法に従い界面活性剤を用いて、銀コロイド溶液を調整した。この銀コロイド溶液に綿粉末を浸せし、銀コロイド微粒子を粉体表面に吸着させ抗菌性粉末を作製した。

### (A) 銀コロイド溶液の調整

銀塩に  $\text{AgNO}_3$  を用い、 $0.05\text{mmol}$  を含む水溶液  $94\text{ml}$  に陰イオン性の界面活性剤 sodium dodecylbenzenesulfonate (SD) または陽イオン性の界面活性 stearyltrimethylammonium chloride (SC)  $10\text{mg}$  を含んだ水溶液  $1\text{ml}$  を加えた後、激しく攪拌しながら  $\text{NaBH}_4$   $0.2\text{mmol}$  の水溶液  $5\text{ml}$  を滴下して銀コロイド溶液を調整した。今後、それぞれの界面活性剤で調整したコロイド溶液を Ag-S D および Ag-S C コロイド溶液とする。

### (B) 銀コロイドの吸着

綿粉末を銀コロイド溶液に所定時間、浴比 1:250 にて攪拌しながら室温で浸せしめた。そして粉末を濾別し水洗した後、乾燥した。Ag-S D および Ag-S C コロイド溶液の pH は 9.2, 9.3 であった。

### (3) 銀の定量

綿粉末に吸着させた銀は Volhard 法によって定量した。すなわち、正確に定量した銀吸着綿粉末を  $4\text{N HNO}_3$   $5\text{-}7\text{ml}$  で酸化した後、 $20\text{ml}$  の蒸留水を加え、攪拌しながら  $1\text{-}2\text{ml}$  の飽和鉄ミョウバン溶液、さらに  $\text{HNO}_3$   $1\text{ml}$  を加えた後、 $0.01\text{N NH}_4\text{SCN}$  溶液で滴定して求めた。

### (4) 銀吸着粉末の写真撮影

銀吸着綿粉末の写真は、これらの粉末を  $150\mu\text{m}$  のふるいを通して、スプレー糊を吹き付けた  $60\text{mm}$  のろ紙上に受けさせたあと、刷毛で軽く掃き均一に付着させた。この操作を 2 回繰り返して写真撮影用試料とした。

## (5) かび抵抗性試験

抗菌性粉体のかび抵抗性は JIS Z 2911 に規定されている皮および皮革製品のかび抵抗性試験に従い試験を行った。

### (A) 試料

Ag-S C コロイド溶液に 24 時間浸漬して銀コロイドを吸着させた綿粉末  $0.2\text{g}$  を蒸留水に拡散させた後、吸引ろ過により直径  $25\text{mm}$  の乾熱滅菌したガラス繊維ろ紙上に捕集した円盤状の固まりを試験試料とした。

### (B) 試験に用いるかび

試験には黒こうじかび (*aspergillus niger* FERM S-1)、青かび (*penicillium citrinum* FERM S-5) の 2 種のかびを用いた。

### (C) 試験方法

ばれいしょ-ぶどう糖-寒天で作った培地  $25\text{ml}$  を滅菌シャーレに平板状に入れ、培地と接着するようにシャーレの中心部には円盤状の粉末試料、その横にはガラス繊維ろ紙を置いて、かび孢子懸濁液  $1\text{ml}$  を試験試料および培地の表面に均等にまきかけ、シャーレのふたをして温度  $28\pm 2^\circ\text{C}$  に保った場所において 7 日間培養した。

## (6) 抗菌性試験

抗菌性試験はハロー (菌生育阻止円) と MIC (minimum inhibitory concentration, 富栄養下での最小増殖阻止濃度) を測定することによって判定した。

### (A) ハロー (菌生育阻止円)

試験菌をスプレッターで塗布した標準寒天平板の中央付近に、薬剤を  $10\text{mg}$  程度載せ、 $37^\circ\text{C}$  で 24 時間培養した。培養後の薬剤周辺のハローの有無より抗菌剤の効果を判定した。

### (B) MIC (minimum inhibitory concentration, 富栄養下での最小増殖阻止濃度)

試料を適当な濃度になるようブイヨン培地に分散または溶解し、試験菌 (黄色ぶどう球菌または肺炎かん菌) を  $10^4\text{Cell/ml}$  程度になるように加え、 $37^\circ\text{C}$  24 時間振とうし培養を行った。そして試験菌培養液  $0.05\text{ml}$  を  $1\text{ml}$  の生理的食塩水に希釈後、その  $0.05\text{ml}$  を標準寒天培地  $15\text{ml}$  に混合し、 $37^\circ\text{C}$  で 24 時間培養した。培養後の生菌数がブランクの培地より減少している最小濃度を MIC の値とした。

### (C) 試験に用いる細菌

試験には黄色ぶどう球菌 (*staphylococcus aureus*) 肺炎かん菌 (*klebsiella pneumoniae*) および大腸菌 (*escherichia coli*) の 3 種類の細菌を用いた。

### (D) 抗菌性の劣化

銀系抗菌剤は使用環境中に塩素などが存在する場合、抗菌性の劣化が起こり得る。水道水の殺菌用塩素などはそのひとつである。銀吸着綿粉末の抗菌性の劣化につい



て、水道水中に 30 分間浸せきすることを 5 回繰り返して検討した。

### 3. 結果と考察

#### (1) 銀吸着綿粉末

##### (A) 界面活性剤の影響

図 2 に Ag-S D および Ag-S C コロイド溶液に 24 時間浸せきした後の綿粉末の写真を示す。比較のため未処理の綿粉末の写真も示す。

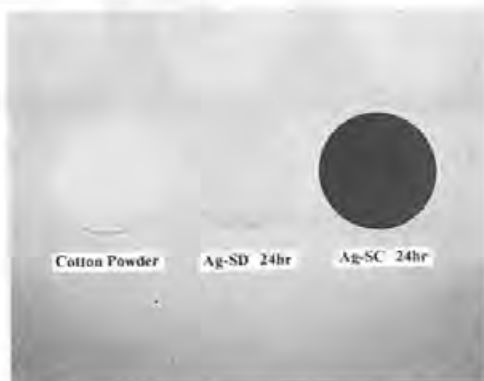


図 2 界面活性剤の影響  
Effect of surfactant

Ag-S D コロイド溶液に浸せきした綿粉末と比較して Ag-S C コロイド溶液の方が濃く発色している。これは銀コロイド溶液の電位が S D では負コロイド、S C では正コロイド<sup>2)</sup>であり、綿粉末は水中では負に帯電している<sup>3, 5)</sup>ため、正コロイドである Ag-S C コロイド溶液の方が銀コロイドを多く吸着したためである。また、綿粉末の銀含量は Ag-S C コロイド溶液では 1.17%、Ag-S D コロイド溶液では 0.06%であった。この結果より、綿粉末に銀コロイドをより多く吸着させるためには陽イオン性の界面活性剤を用いればよいことがわかる。以後、銀吸着綿粉末は陽イオン性の界面活性剤 S C を用いて調整したコロイド溶液に 24 時間浸せきしたものとす。

##### (B) 浸漬時間の影響

図 3 に綿粉末を Ag-S C コロイド溶液に浸せきしたときの浸せき時間と銀吸着量との関係を示す。銀の吸着量は浸せき時間の増加とともに増大するが、およそ 8 時間で飽和に達している。

#### (2) かび抵抗性

図 4 にばれいしょ-ぶどう糖-寒天培地の上に綿粉末、銀吸着綿粉末を接触させて、黒こうじおよび青かびを 7 日間培養したときの写真を示す。綿粉末上では黒こうじおよび青かびともにかびが発生し、綿粉末のかび抵抗性がないことがわかる。銀を吸着させた綿粉末ではかびの発生は見られず、かびに対する抵抗性があることがわかる。

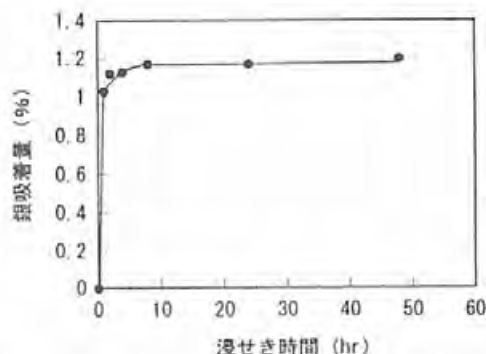


図 3 Ag-S C 溶液での浸せき時間と銀吸着量との関係  
Relation between the amounts of silver on cotton powder and dipping time in Ag-S C



図 4 綿粉末および銀吸着綿粉末のかび抵抗性  
Fungus resistance of cotton powder and silver adsorbed cotton powder

#### (3) 抗菌性

図 5 には綿粉末および銀吸着綿粉末の黄色ぶどう球菌、肺炎かん菌および大腸菌に対する抗菌性試験の結果を示す。

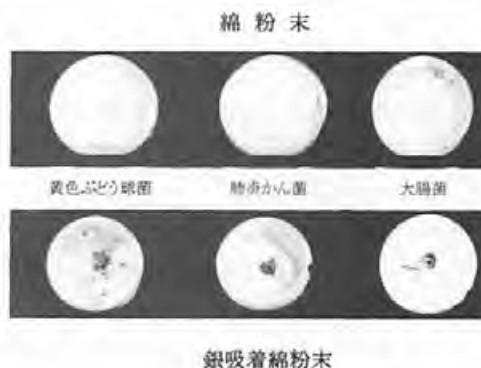


図 5 綿粉末および銀吸着綿粉末の抗菌性  
Antibacterial activity of cotton powder and silver adsorbed cotton powder

綿粉末では、いずれの菌においてもハローは認められず、抗菌性がないことがわかる。それに反して銀吸着綿粉末では、粉末を中心としてハローが認められ抗菌性があることがわかる。

図6にAgNO<sub>3</sub>水溶液および界面活性剤SC水溶液に24時間浸せきした綿粉末の抗菌性試験の結果を示す。いずれの菌においてもハローが認められない。

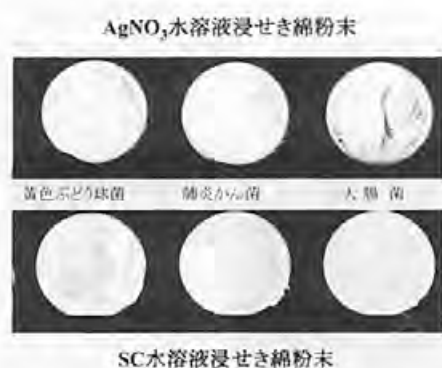


図6 AgNO<sub>3</sub>およびSC水溶液浸せき綿粉末の抗菌性  
Antibacterial activity of cotton powder dipped in AgNO<sub>3</sub> and SC solution

図5および6の抗菌性試験結果を表2に示す。

表2 抗菌性 (ハローテスト)  
Antibacterial activity (Halo test)

	黄色ぶどう球菌	肺炎かん菌	大腸菌
銀吸着綿粉末	+	+	+
AgNO <sub>3</sub> 水溶液浸せき綿粉末	-	-	-
SC水溶液浸せき綿粉末	-	-	-

抗菌性 ; + : あり, - : なし

銀がコロイドで吸着された綿粉末は抗菌性があるが、AgNO<sub>3</sub>および界面活性剤SCのみでは抗菌性が得られないことがわかる。

また、銀吸着綿粉末の黄色ぶどう球菌に対するMICは表3に示すように250 μg/ml以下という値を示しており、市販の銀系の抗菌剤<sup>6)</sup>と同様な値を示している。

表3 MIC (富栄養下での最小増殖阻止濃度)  
minimum inhibitory concentration

	MIC (μg/ml)
銀吸着綿粉末	<250

試験菌 : 黄色ぶどう球菌

#### (4) 抗菌性の劣化

銀吸着綿粉末の抗菌性の劣化について、水道水中に30分間浸せきすることを5回繰り返した後の抗菌性試験の結果を図7に示す。ハローが認められることより、いずれの菌に対しても抗菌性の劣化はないことがわかる。



図7 水道水で5回洗浄後の銀吸着綿粉末の抗菌性

Antibacterial activity of silver adsorbed cotton powder after washed 5 times

#### 4. まとめ

綿繊維屑から作製した綿粉末を抗菌防かび性を持った機能化素材とするためのひとつの方法として、銀をコロイド微粒子として綿粉末に吸着させるとき微粒子を安定化させるため、界面活性剤に陽イオン性のものを用いると、銀が多く吸着されることがわかった。その銀吸着綿粉末は、黒こうじおよび青かびに対してかび抵抗性を有し、さらに黄色ぶどう球菌、肺炎かん菌および大腸菌に対して抗菌性を示すことがわかった。今後は、綿繊維の主成分であるセルロースに金属あるいは抗菌防かび剤を化学的に反応させた機能化素材についても検討する予定である。

#### 参考文献

- 1) Nakao, Y. and Kaeriyama, K., J. Colloid Interface Sci., 110, 82 (1986)
- 2) Pasteka, M., Acta Polymer., 43, 107, 227 (1992)
- 3) 中尾、表面、24, 413 (1986)
- 4) 中垣、福田、コロイド化学の基礎、P74 (1976) 大日本図書
- 5) 右田、近藤、米沢、木材化学 上、P165 (1987) 共立出版
- 6) 弓削、抗菌防臭、P101 (1990) 繊維社

# ジオシンセティック材料を用いた排水補強盛土工法

## *Reinforced Embankment Method using Geosynthetic Horizontal Drain Materials*

赤井 智幸\*      松本 哲\*      玉井 輝夫\*  
*Tomoyuki Akai      Akira Matsumoto      Teruo Tamai*  
 嘉門 雅史\*\*  
*Masashi Kamon*

(1998年10月30日 受理)

In recent years, the reinforced embankment method using geosynthetic materials has been used generally as one of the construction methods to stabilize embankments. Although the geogrid, which is a typical reinforcing material, has good mechanical properties, it is not suited to reinforced embankments of soft clay because of lacking drainage effect.

When a soft clay of low strength is used as filling material for embankments, it is necessary to increase the total strength by consolidation due to the drainage. This is the reason why a reinforcing material is being developed which has a large transmissivity as well as a superior strength.

The authors have developed several kinds of geosynthetic horizontal drains(abbreviated below as GHDs) which have both of these properties. This paper describes them, and discusses a method for designing reinforced embankment using GHDs.

キーワード：補強土工法，ジオシンセティック材料，粘性土，建設発生土，軟弱土

### 1. 緒言

近年，処分費の高騰や処分地の減少等の理由から，従来廃棄物として処分されていた粘性土や建設発生土の有効利用が強く求められている。最近ではジオシンセティック材料（土木用繊維・高分子資材）を利用した「補強土工法」に著しい発展が見られるが，従来の補強材には排水性がないため，粘性土や建設発生土等の性状の悪い軟弱土には適用が困難である。

筆者らは，補強機能のみならず，排水機能をも兼ね備えた新しいタイプのジオシンセティック材料の盛土補強材（以下，GHD:Geosynthetic Horizontal Drainと称す）を開発し，その効果確認のため3種類の盛土実験を行い，軟弱土の盛土材料にも適用できる補強土工法の検討を進めてきた。その結果，「排水補強盛土工法」とし

て実用化の段階に至った。ここでは，盛土高さ10mの粘性土高盛土実験を中心とした盛土実験と，排水補強盛土工法の設計法や実用化例について報告する。

### 2. 実験

GHDの開発にあたっては補強や排水性，耐久性に係わる室内実験によって材料特性を吟味し，実施工での効果確認のため表1に示す3種類の盛土実験を実施した。

表1の盛土実験1は，崩壊した4カ所の農業盛土斜面の復旧にGHDを適用したものである。現場は大阪府内の崩壊が多発している地すべり防止指定区域で，盛土材料は砂混じり粘土である。実験では5年間にわたり施工時に埋設した計測計器による現場計測や現地調査を行ったが，例えば，図1は現場計測から得られた記録的豪雨時における盛土内の水位変動を示している。無補強工区では盛土内水位はきわめて高く，水位低下に長時間を要している。一方，GHDで補強した工区は，降雨に対し

\* 評価技術部 産業用繊維グループ

\*\* 京都大学 防災研究所

る効果と、雨水などの浸透水を排除し盛土を良好な状態に保つというような、定性的な安定に寄与する効果とがあるが、設計では前者のみを対象としている。

設計に当たっての検討項目の概要は次のとおりである。  
 ①内的安定に対する検討（補強領域内部のすべりに対する安定性、GHDの破断、引抜けに対する検討）②壁面工の検討（壁面工が土圧に対して安定であるかどうかの検討）③外的安定の検討（補強領域外側のすべりに対する検討）④地震時の検討（通常は常時の検討のみであるが、万一崩壊すると隣接物に重大な損害を与えたり、復旧に長時間を要するような場合に行う。）

GHDの敷設時の配置は、原則として全面敷設配置および帯状千鳥配置で、帯状千鳥配置の場合の敷設率は30%以上とした。

## （2）排水補強盛土工法の実用化例

表1に示した盛土実験の結果から、GHDならびに排水補強盛土工法の長期補強効果が認められ、また、従来に比べ設計根拠が明確で、経費縮減にもつながることから、大阪府では、平成9年度より農業用盛土への本研究成果の活用・導入を決定した<sup>4)</sup>。図7～9は、平成10年に大阪府泉北丘陵において、崩壊した盛土斜面の復旧に適用された実用化例である。現場は図7に示すように高さ10m程度で、斜面が降雨によって上端から深さ約4m、幅約15mにわたり崩壊したものである。現場発生土の崩壊した軟弱な砂混じり粘土をそのまま盛土材料に用い、GHDで補強して斜面勾配1:1.5で復旧された。施工には特別な熟練技術等を必要とせず、30cm幅のGHDを敷設率33%、90cmピッチで帯状に敷設し、高さ方向に4段、千鳥に配置した（図8）。盛立て完了後の状況を図9に示す。

盛立て後、梅雨や台風の時期を経ても何ら異常はなく、復旧された盛土は安定な状況にある。



図7 崩壊斜面  
Failed Slope



図8 GHDを用いた盛立て状況  
Filling Work with GHD



図9 盛立て完了  
Completed Filling Work

## 4. まとめ

GHDならびにこれを用いた排水補強盛土工法は、軟弱土の盛土や崩壊斜面の復旧に利用でき、従来廃棄物として処分されていた粘性土や建設発生土の盛土材料としての有効利用に貢献するものと考えられる。

本研究は、28機関・企業による中核的研究事業として実施したものであり、参画された機関および企業の担当者の方々に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) M. Kamon, T. Akai, M. Fukuda, Y. Nanbu, Proc. of Int. Symp. on Earth Reinforcement, 215-220, 1996
- 2) ジオテキスタイル技術研究会, 排水補強盛土工法技術資料—ジオシンセティック材料による—, 1998
- 3) (財)土木研究センター・ジオテキスタイル補強土工法普及委員会, ジオテキスタイルを用いた補強土の設計・施工マニュアル, 平成5年
- 4) 大阪府, 公共工事コスト縮減対策に関する行動計画, 平成9年

粉末液相成形法によるアルミニウム基複合材料の  
製造とその特性 (第2報)  
SiC粒子/6061アルミニウム合金複合材料への適用  
*Fabrication and Properties of Aluminum Matrix  
Composite by Powder Liquid Forming Technique  
(2nd Report)  
Application to SiC Particle/6061 Aluminum Alloy  
Matrix Composites*

宮田 良雄\* 白川 信彦\* 和田林良一\*  
*Yoshio Miyata Nobuhiko Shirakawa Ryoichi Wadabayashi*

(1998年10月14日 受理)

For manufacturing high-strength light metal composites, SiC/6061 aluminum alloy composites were fabricated using a powder liquid forming (PLF) technique, and the compactability in preforming process and in the PLF process were examined. After subsequent heat treatment, deformability in upsetting process and mechanical properties of the PLF products were investigated.

In case of PLF process, the relative density of the composites reached to 1.0 and distribution of SiC particles was almost uniform, regardless of the volume fraction of particles.

Chemical composition of the PLF products was almost same as that of used raw 6061 powder, and heat treatment could be applied as well as commercial aluminum alloys. Deformability in upsetting process was deteriorated by adding SiC particles. Tensile strength and hardness increased with the increase in the volume fraction of the SiC particles, but elongation decreased. Sheet metal obtained by rolling of the PLF composites could be formed in deep drawing or bulging, but the deformability was inferior to that of continuous casting 6061 alloy.

キーワード：粉末液相成形法，複合材料，6061アルミニウム合金粉末，炭化珪素粉末

## 1. はじめに

粉末液相成形法は、常温で予備成形した圧粉体をその液相温度まで加熱して加工する方法で、特に粒子分散型複合材の製造方法として有効である。前報<sup>1)</sup>では純アルミニウム粉末に炭化珪素粒子を複合強化材として添加し、強化材の均一な分布と複合材の高密度化に対するこの加

工法の有効性を明らかにした。

近年、高強度部品の軽量化にアルミニウム合金が使用されることが多いが、これをマトリックスとする複合材を製造する場合、比較的変形抵抗が高いことや、成形後に熱処理が施されることなど、純アルミニウムの場合と異なる状況が予想される。そこで、一般によく用いられるAl-Mg-Si系の6061合金粉末と炭化珪素粉末に対して本法を適用し、高強度軽合金複合材料の製造を試み、その成形性と性状を調査したので報告する。

\* 生産技術部 塑性加工グループ

## 2. 実験方法

### (1) 供試粉末と粉末予備成形条件

供試粉末として6061合金(以後,合金と称す)と炭化珪素(SiC)(-400メッシュ)を使用した. 表1に合金粉末の化学組成と粒度分布を, 図1にそれらの粒形写真を示す.

表1 化学組成と粒度分布  
Chemical composition and particle size distribution

化学組成 (mass%)							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn+Ti	Al
0.69	0.23	0.22	0.02	0.89	0.12	0.02	残部
粒度分布 (mass%)							
45 $\mu$ m以下		45~63 $\mu$ m		63 $\mu$ m以上			
72.8		26.7		0.5			

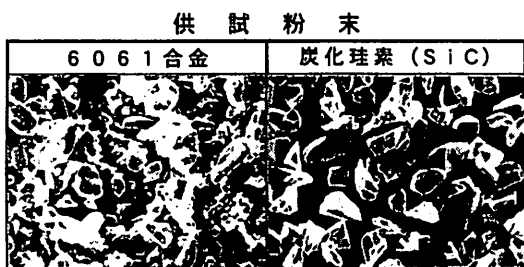


図1 供試粉末の粒形写真  
Scanning electron micrograph of powder used

粉末粒子の形状は, 合金粉末はやや扁平で丸みを帯びた形状であり, SiC粉末は角張った形状を呈している.

合金粉末に対するSiC粉末の添加割合は, 0, 10, 20 mass%(以後, massの表示は省く)の3種類とした. 両粉末を秤量後, 超小型V型混合機で乾式にて3.6ks混合し, 粉末予備成形に供した.

粉末予備成形は, 30トン万能材料試験機を使用し, 混合粉末20gをダイ・キャビティ内に入れ, 常温にてそれぞれ29.4, 49.0, 78.4, 117.6, 147.0kNの加圧力で円柱形状( $\phi$  25.4mm)に圧縮成形した. この時の潤滑剤は, エチルアルコールに分散させたステアリン酸カルシウムを使用し, ダイ内面に刷毛塗りをした.

各条件下で成形した圧粉体の密度を測定し, 相対密度がほぼ同一(0.8)になるように予備成形での加圧力を決定した. なお相対密度は, 圧粉体の測定密度を混合粉末の理論密度(合金:  $2.70\text{g/cm}^3$ , SiC:  $3.17\text{g/cm}^3$ の完全混合物として重量比率で計算した値)で除して求めた.

### (2) 粉末液相成形条件

粉末液相成形には粉末予備成形と同じ30トン万能材料試験機を使用し, 金型は粉末予備成型用金型と同様の円柱形状( $\phi$  25.4mm)とし, コイニング形式で密閉型成形ができる構造とした.

水性黒鉛潤滑剤を塗布した金型内に相対密度が0.8になるように予備成形した試料を挿入し, 金型ごと箱形加

熱炉に入れて, 大気雰囲気中にて加熱を行った. 成形温度は合金の液相線温度(927K)を境に723Kと933Kの2条件とし, この温度で1.8ks保持後49.0, 78.4, 98.0, 117.6, 137.2kNの荷重にて成形を行った.

### (3) 粉末液相成形品の性状

粉末液相成形品の性状を明らかにするため, 933Kでの成形品についてその変形能, 機械的性質および板材としての二次加工性について調べた. なお, 比較のために6061連続鋳造材(以後, CC材と称す)についても調べた.

変形能は, 特殊鍛造試験機(ポードロップハンマ)を用いて鍛造温度723Kにて自由据え込みを行い, 試料側面での割れの有無で判断した. また, 機械的性質と板材としての成形性を調べる目的で, 成形品を圧縮・圧延にて直径約65mm, 板厚約1.6mmの円板に加工した. この円板からワイヤーカット放電加工機にて標点間距離20mm, 巾7.5mmの引張試験片を切り出し, インストロン材料試験機を用いて引張試験を行った. なお深絞り, 張出し用試料は円板のまま使用した. また各試験片は表2に示す条件で熱処理を行った. 深絞り試験および張出し試験は表3に示す条件で行い, 張出し試験にはエリクセン試験工具を用いた.

表2 熱処理条件  
Heat treatment condition

調質	処理条件
O	688K $\times$ 10.8ks 後, 炉冷
T4	溶体化処理 823K $\times$ 5.4ks 後, 水冷 時効処理 常温 $\times$ 345.6ks

表3 深絞りおよび張出し試験条件  
Deep drawing and bulging test condition

深絞り試験		張出し試験	
ポ ン チ	$\phi$ 40 $\times$ R4, R8	張出し速度	5mm/min.
ダ イ ス	$\phi$ 45 $\times$ R10	ブランク	
潤 滑	白色ワセリン	締め付け荷重	10KN
絞 り 速 度	11~12mm/min.	潤 滑	白色ワセリン
しわ押さえ力	1.0KN		

## 3. 結果および考察

### (1) 粉末予備成形

図2に圧粉体成形時の各SiC粉末添加量での相対密度と成形圧力の関係を示す. 図中には純アルミニウム粉末を母材とした場合の結果<sup>1)</sup>についても併記した.

いずれの場合も, SiC粉末の添加量に関わらず成形圧力の増加にともなって相対密度は上昇した. また, 同一成形圧力で比較すると, 添加量の増加にともなって相対密度は低下した. これは, SiC粉末の変形抵抗が合金粉末と比較して高いためであると考えられる. また,



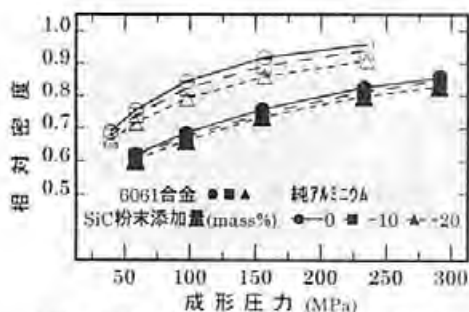


図 2 相対密度と成形圧力の関係  
Relation between relative density and compacting pressure

純アルミニウム粉末の場合と同一成形圧力で比較すると添加量の多少に関わらず合金粉末の方が相対密度は低い値を示した。供試粉末の硬さ測定(11点平均)では、合金粉末はHv(0.01)67.3、純アルミニウム粉末はHv(0.01)25.2で、この硬さの差が変形抵抗に影響し密度の差となって現れたものと察せられる。また常温圧縮による成形では、成形圧力がある程度以上に上げて密度の上昇は見られず、本合金の場合の相対密度は、約0.8が限界となることが判った。

(2) 粉末液相成形

図3に予備成形品を723Kおよび液相線温度以上の933Kで加圧成形した場合の相対密度と成形圧力の関係を示す。

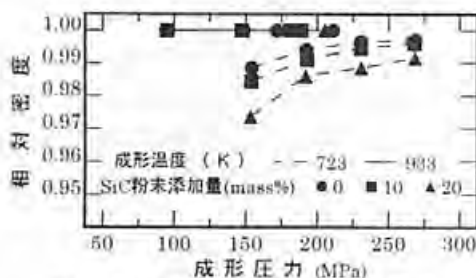


図 3 相対密度と成形圧力の関係  
Relation between relative density and forming pressure

成形温度が合金の液相線温度以下(723K)では、成形圧力の増加にともなって相対密度は上昇したが、相対密度を1.0まであげることは極めて困難であった。また同一成形圧力で比較すると、SiC粉末の添加量の増加にともなって相対密度は低下する傾向が認められた。これは、常温での予備成形の場合と同様でこの温度では合金粉末は固体であり、変形抵抗の高いSiC粉末粒子が合金粉末粒子の変形を妨げるために空隙への充填が困難になることに起因するものと考えられる。このことは複合材を従来の粉末鍛造法で成形しても、充分な密度を得ることが困難であることを示している。これに対し、液相線温度以上(933K)での成形では、SiC粉末の添加量に関係なく相対密度は1.0まで上昇した。この温度域では液相状態で加圧されるため、合金表面の酸化膜が破壊さ

れ、液状合金が流出して合金とSiC粉末間の濡れ性が向上することにより高密度化したものと考えられる。この状況は前報<sup>1)</sup>の場合と同様である。これらのことから、マトリックスとなる金属材料の液相線温度以上で加圧成形すればその金属の合金成分に関係なく常に高密度の複合材が得られるものと思われる。

(3) 粉末液相成形品の性状

表4に粉末液相成形品と溶解材(高周波遠心鋳造にて供試粉末の圧粉体を溶解し鋳込んだ試料)およびCC材の化学組成を、図4に粉末液相成形品とCC材についてそれぞれのO材とT4材のX線回折による定性分析結果を、また図5に粉末液相成形品のEDXによる酸素の面分析結果を示す。

表 4 粉末液相成形品と溶解材と  
CC材相化学組成  
Chemical composition of as-PLF  
and Casting and CC materials

化学組成 (mass%)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
成形品	0.63	0.30	0.15	0.01	0.91	0.11	0.00	0.00	残部
溶解材	0.70	0.21	0.15	0.01	0.55	0.12	0.01	0.00	残部
CC材	0.72	0.20	0.21	0.00	0.73	0.16	0.01	0.04	残部

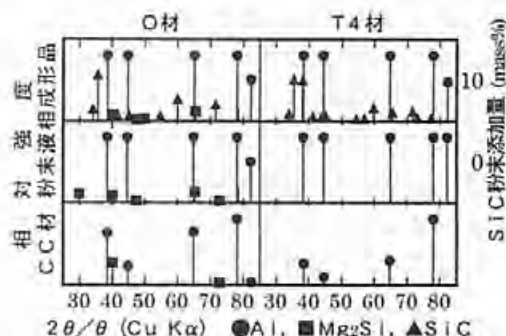


図 4 X線回折による定性分析  
X-ray diffraction patterns obtained from specimen

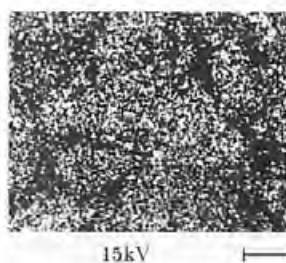


図 5 EDXに結果よる粉末液相成形品の  
面分析結果 (O材)  
Result of EDX area analysis at PLF

粉末液相成形品と溶解材の組成を比較すると、Mg量が大きく異なる。すなわち供試粉末に対するMg量の歩留まりは溶解材では約60%となっているのに対し、粉末液相成形品では供試粉末とほとんど変化はなかった。このことから粉末液相成形法は少なくとも見掛け上は、素材の化学組成を損なうことなく成形できる加工法であることが判った。また、X線回折の結果ではSiC粉末

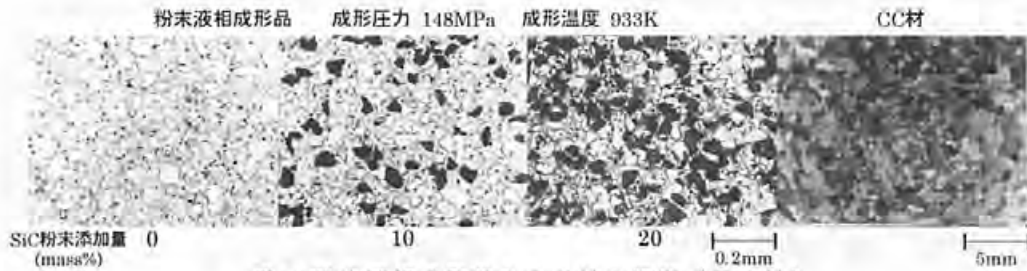


図6 粉末液相成形品とCC材の組織 (T4材)  
Structures of as-PLF and CC materials

添加した粉末液相成形品は、当然ではあるがO材、T4材に関わらず、SiCのピークが存在し、変質は起こっていないことが推察される。また、粉末液相成形品とCC材のいずれも、O材にはMg<sub>2</sub>Siのピークが表れたが、T4材ではそのピークが消えており、十分な熱処理が行われているものと考えられる。このことから粉末液相成形品は熱処理においても問題がないといえる。なお、粉末液相成形品は大気中でしかも融点以上での加熱であるにも関わらず、酸化物のピークは現れなかった。しかし、EDXによる酸素の面分析結果から酸素がほぼ均一に分布しており、粉末表面の酸化物が成形中に分散したものと考えられる。

図6に成形圧力148MPa、成形温度933Kで成形した粉末液相成形品とCC材のT4熱処理後の組織を示す。

SiC粉末の分布状態はコイニング形式による成形のため添加量に関わらずほぼ均一であった。また粉末液相成形品の組織は、CC材よりも微細であった。

図7に粉末液相成形品の熱間鍛造における変形能に及ぼすSiC粉末添加量の影響を示す。

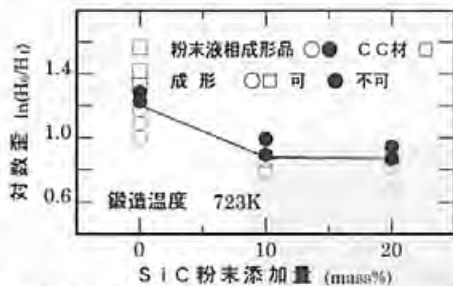


図7 変形能に及ぼすSiC粉末添加量の影響  
Effect of the amounts of SiC-particles on deformability

添加量0%と10%を比較すると、その変形能は対数歪で0.3と大きな差を示しているが、添加量10%と20%ではその差は小さい。なお比較に用いたCC材の変形能は、粉末液相成形品より高い値を示した。

図8にT4材の機械的性質に及ぼすSiC粉末添加量の影響を示す。

添加量の増加にともないほぼ直線的に抗張力と硬さは増加し、伸びは低下した。またSiC粉末を添加しない粉末液相成形品とCC材を比較すると、粉末液相成形品の方が、伸びは若干低い値を示しているが、抗張力と硬さはほぼ同程度の値を示している。また展伸材<sup>2)</sup>の機械

的性質と比較しても遜色がなく、粉末液相成形法で成形した本製品は、十分に満足できる機械的性質を持っていることが判った。

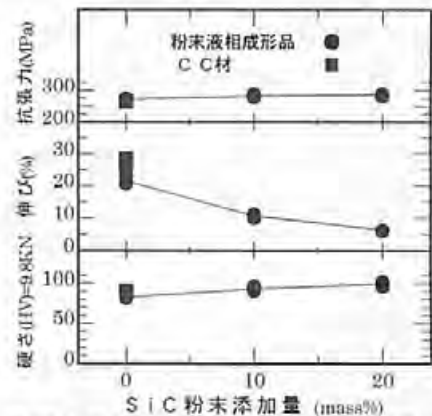


図8 機械的性質に及ぼすSiC粉末添加量の影響  
Effect of the amounts of SiC-particles on mechanical properties

図9に深絞り荷重に及ぼすSiC粉末添加量の影響を、図10に張出し試験結果を、また図11にO材での張出し試験で亀裂が発生した時の粉末液相成形品(SiC粉末添加量0%)とCC材の外観および各々の張出し荷重と張出し高さを示す。



図9 深絞り荷重に及ぼすSiC粉末添加量の関係 (O材)  
Effect of the amounts of SiC-particles on deep drawing pressure



図10 張出し試験結果  
Result of bulging test



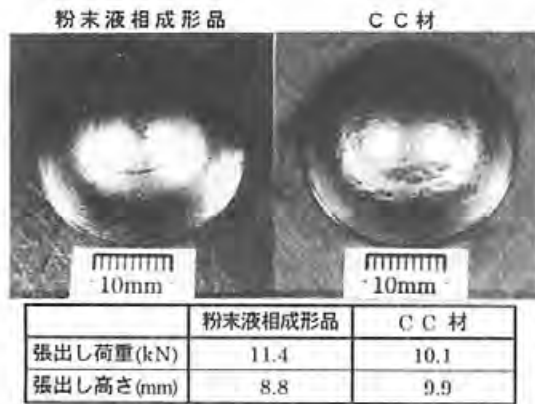


図11 張出し試験後の外観写真 (○材)  
Externals photographs after bulging

深絞り試験では、深絞り荷重はSiC粉末添加量の増加にともない上昇した。張出し試験では、その変形能を張出し高さで比較すると、○材、T4材に関わらず、CC材>添加量0%>添加量10%>添加量20%の順に大きい値を示した。亀裂の発生の様子はCC材の場合は延性的に円周方向にくびれているのに対し、粉末液相成形品は脆性的でほぼ直線形状であった。

#### 4. まとめ

アルミニウム合金として一般に用いられている6061合金の粉末にSiC粉末を強化材として添加し、粉末液相成形を行い、以下のことが明らかとなった。

(1)予備成形としての混合粉末の常温圧縮では、成形圧力の増加にともない相対密度は上昇するが、理論密度には達せず相対密度は約0.8が限界である。また同一圧力

で比較すると、SiC粉末添加量の増加にともない相対密度は低下する。なお、合金粉末は純アルミニウム粉末と比較して、同じ相対密度を得るために必要な圧力は高く、圧縮成形性は合金粉末のほうが劣る。

(2)常温圧縮で予備成形した圧粉体の高温成形において、合金の液相線温度以下では相対密度を1.0まであげることができないが、液相線温度以上ではSiC粉末の添加量に関わらずほぼ理論密度に到達する。また粉末液相成形品の組織は微細であり、熱処理が可能である。

(3)SiC粉末を添加しない場合の粉末液相成形品の性状をCC材と比較すると抗張力、硬さでは差がないが、伸びで若干劣る。

(4)強化材としてSiC粉末を添加した粉末液相成形品のSiC粉末の分布状態は、添加量に関係なくほぼ均一であり、また強化材の添加により抗張力や硬さは若干上昇するが、伸びや変形能は大きく低下する。

以上のことから、粉末液相成形品は展伸材やCC材と比較して延性が少し劣るものの、その他の特性はほぼ同等とみなせる。また本法を複合材の製造に適用すれば強化粉末の均一な分布と高密度な成形品が得られ、本法は今後の発展が期待できる加工技術と考えられる。

#### 参考文献

- 1)宮田良雄, 白川信彦, 和田林良一, 大阪府立産業技術総合研究所報告, 11,36(1998)
- 2)アルミニウムの組織と性質, 軽金属学会, 1991, p477

# 沈澱法による $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ 複合粉末の作製と焼結

## *Sintering of Alumina/Zirconia Composite Powders Prepared by the Precipitation Method*

久米 秀樹\* 西川 義人\*\* 稲村 偉\*\*  
*Hideki Kume Yoshito Nishikawa Suguru Inamura*

宮本 大樹\* 加藤 泰三\*\*\* 前田 岳志\*\*\*\*  
*Hiroki Miyamoto Taizo Kato Takeshi Maeda*

(1998年10月30日 受理)

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$  (99-90)/(1-10) (wt%) composite powders have been prepared by the coprecipitation technique. Both normal sintering and capsule-free HIP sintering have been performed and the bending strength of the composites is examined. The content of  $\text{ZrO}_2$  influences the strengthening of the composites. Although 1.0 wt% of  $\text{ZrO}_2$  can not enhance the bending strength of the composites high enough, a mean bending strength of 757 MPa is achieved by the addition of 5.0 wt% of  $\text{ZrO}_2$  via the normal sintering at 1873K. On the other hand, HIP sintering at 1723K enhances the average strength of the composites including 5.0 wt%  $\text{ZrO}_2$  to 958 MPa. The strengthening effect observed from the addition of 5.0 wt% and 10.0 wt%  $\text{ZrO}_2$  is similar, so that the addition of 5.0 wt%  $\text{ZrO}_2$  is enough to improve the properties of the composites. The bending strength increase of the composites is discussed in connection with the  $\text{ZrO}_2$  content and their microstructures.

キーワード :  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ , 沈澱法, 曲げ強さ, HIP 焼結, 結晶粒径

### 1. 緒言

構造用セラミックスにおいて、窒化珪素やジルコニア等は優れた機械的特性を有する材料として、セラミックスエンジン部材、ベアリングボール材、その他機械部材等に用いられているが、高い材料コストのためにその応用範囲は限られている。一方、バイヤー法などで製造される純度 2N 以下のアルミナ基セラミックスは、信頼性は窒化珪素やジルコニア等に劣るものの、それらと比較して低価格で供給されているため、広い範囲で機械部材等に利用されている。そこで、アルミナ基セラミックスが、低コストを維持して窒化珪素やジルコニア並の強度や信頼性を得ることができれば、構造用セラミックス全体の機械部材等への応用範囲は一層広がるものと考え

られる。

アルミナを強化する方法として、ジルコニア粒子を分散させる方法はよく知られている<sup>1)~4)</sup>。アルミナ粒界に存在するジルコニア粒子によって、焼結過程のアルミナの粒成長が抑制され、結晶粒微細化によりアルミナの強化が図られる。あるいは、分散している部分安定化ジルコニア自身の応力誘起変態機構により、破壊靱性値が向上することなどが報告されている。しかし、それらの顕著な効果を得るためには、通常 10wt%以上のジルコニアを分散させる必要がある。そのため、アルミナと比較して高価なジルコニアを多く必要とし、かつ、ジルコニア分散の製造工程が増えるため、全体的な材料コストは高くなり、これまで、工業的に広く普及されていないのが現状である。

ところが、沈澱法を用いた複合粉末の作製法が提案され<sup>5)</sup>、少量(5wt%)のジルコニアをアルミナに分散させた複合粉末より焼結体を作製した結果、平均曲げ強度は窒化珪素に匹敵する 700MPa が得られた。また、さらに適切な HIP 処理を施すことにより、最大強度は 1GPa

\* 材料技術部 ファインセラミックスグループ

\*\* 材料技術部 機能性無機材料グループ

\*\*\* (株) 奥村坩堝製造所

\*\*\*\* 京セラ (株)

を越えた<sup>6)7)</sup>。この沈澱法による複合粉末の作製は、製造プロセスが比較的簡単で、かつ、少量のジルコニア量でアルミナの機械的特性を大きく改善できるので、工業的にも有望な手法であるといえる。しかし、本方法により作製した焼結体のジルコニア量と強度の関係については、これまで詳細には調べられていなかった。そこで、本研究では、1.0~10.0wt%の範囲のジルコニア分散量で焼結体を作製し、ジルコニア量に対する焼結体の曲げ強度の変化を調べることを目的とした。さらに、焼結体の微細組織を調べ、その高強度化機構について考察した。

## 2. 実験方法

低ソーダ易焼結性アルミナ粉末(平均粒径 0.6 μm, 昭和電工(株)製 AL160SG-3), オキシ塩化ジルコニウム(8水和物)試薬(ZrOCl<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O), 塩化アルミニウム(6水和物)試薬(AlCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O), 塩化イットリウム(6水和物)試薬(YCl<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O)を表1に示す最終組成となるよう秤量し、水溶液中で攪拌して十分に混合した。溶液にアンモニア水を加えて沈澱反応させ、沈澱物をイオン交換水により置換洗浄して未反応のアンモニア成分と残留塩素イオンを除去し、乾燥後、大気中で1173Kで3.6ks仮焼した。仮焼粉をアルミナ製のボール、ポットにより水溶媒中で86.4ksボールミル粉碎して、スラリーをスプレードライヤによって噴霧乾燥し、顆粒を得た。得られた顆粒を30×50×10mmの大きさに196MPaの圧力で一軸金型成形した後、392MPaで冷間等方加圧(CIP)処理した。成形体を大気中1873Kで7.2ks焼成して焼結体を得た。なお、一部の試料は1823Kで7.2ksの常圧焼成の後、196MPaのアルゴンガス媒体下でカプセルフリーによる1723K、3.6ksの熱間等方加圧(HIP)処理を施した。作製した常圧焼結体ならびにHIP焼結体のかさ密度をアルキメデス法により測定し、破壊強度をJIS R1601に基づき3点曲げ強度測定により評価した。また、焼結体の微細組織をSEMおよびTEMによって観察した。

表1 出発粉末の組成比

Chemical composition of the composite powders

出発粉末名	組成比
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /ZrO <sub>2</sub> (1.5mol%Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) (wt%)
A*	100/0
B	99.0/1.0
C	96.5/3.5
D	95.0/5.0
E	90.0/10.0

\*AL160SG-3のみ

## 3. 結果と考察

### (1) 常圧焼結

図1に原料粉末D(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>=95.0/5.0wt%)より作製した常圧焼結体の焼成温度に対するかさ密度を示す。1773Kではかさ密度は3.746Mg/m<sup>3</sup>であったが、焼成温度が上がるにつれてかさ密度も増加し、1848Kで最高値4.028Mg/m<sup>3</sup>となり、それ以上の温度では密度はほぼ一定となった。この密度変化の傾向は、すべての原料粉末(A~E)より作製した焼結体について共通しており、1848K以上の温度では、理論密度に対する相対密度は約99%であった。

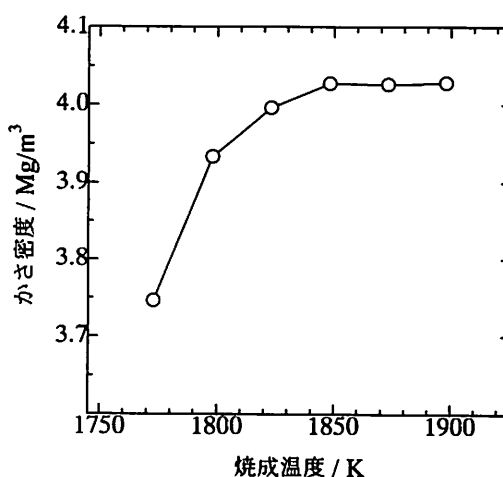


図1 粉末Dより作製した常圧焼結体の焼成温度に対するかさ密度の変化

Bulk density of normal-sintered samples prepared by using powder D as a function of the sintering temperature

図2に原料粉末Dより作製した常圧焼結体の焼成温度に対する曲げ強度を示す。少量のジルコニア量(5.0wt%)にもかかわらず、1873Kの焼成で800MPaを越える曲げ強度の最高値が得られた。1773Kでは、平均曲げ強度は456MPaであるが、焼成温度の上昇に伴い曲げ強度は高くなった。これは、図1の密度変化と対応した結果である。しかし、1873K以上の焼成温度では、高い相対密度にもかかわらず、曲げ強度が若干低下する傾向になった。これは、焼成温度が高くなったため、アルミナの結晶粒成長が促進されたためと考えられる。以上の結果より、高強度を得るのに適した焼成温度は1873Kであることがわかった。この傾向は、すべての原料粉末(A~E)についても同様であった。

図3に1873Kで焼成した焼結体のジルコニア分散量に対する曲げ強度を示す。いずれの試料も約99%の相対密度が得られた。ジルコニアを含まないアルミナモノリシック材の平均曲げ強度は442MPaであったが、ジル

コニア添加量の増加に伴い強度は大きくなり、5.0wt%で757MPaに達した。しかし、5.0wt%以上のジルコニア量では強度はほぼ一定となった。このことより、焼結体を強化するには5.0wt%のジルコニア量で十分であることがわかった。

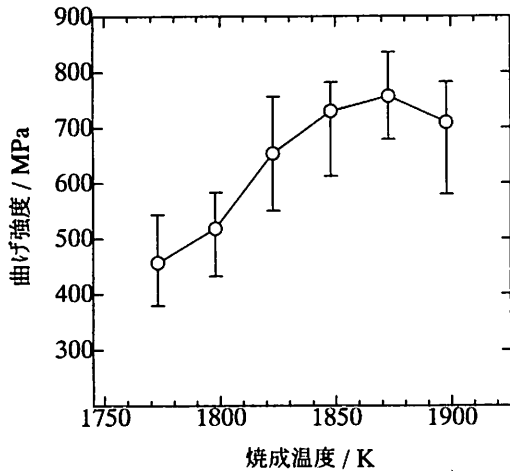


図2 粉末Dより作製した常圧焼結体の焼成温度に対する曲げ強度の変化

Bending strength of normal-sintered samples prepared by using powder D as a function of the sintering temperature

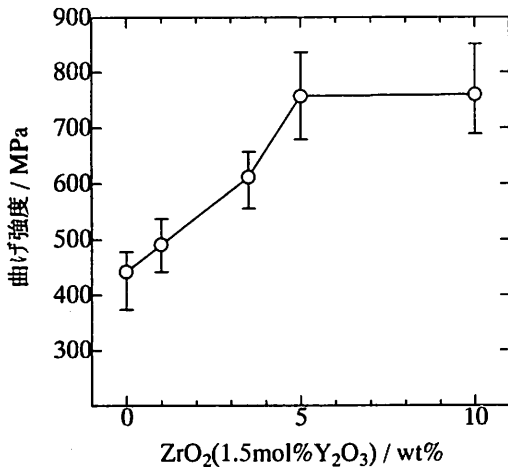


図3 1873Kで焼成した常圧焼結体のジルコニア分散量に対する曲げ強度の変化

Bending strength of samples normally-sintered at 1873 K as a function of ZrO<sub>2</sub> (1.5 mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) content

## (2) HIP 焼結

このジルコニア分散アルミナ複合粉末を、1823Kの常圧焼結の後、1723KでカプセルフリーHIP処理を行った。図4にHIP焼結体のジルコニア分散量に対する曲げ強度を示す。HIP処理により、焼結体の密度が理論密度に近づいたことより常圧焼結体に比べて強度がほ

ぼ200MPa向上した。特に、ジルコニア量が5.0wt%および10.0wt%のものは最大強度が1GPaを越えた。ジルコニア量に対する曲げ強度の変化は、常圧焼結体で得られた結果と同様で、ジルコニア量の増加とともに、曲げ強度も大きくなるが、5.0wt%以上のジルコニア量では、ほぼ一定の値となった。

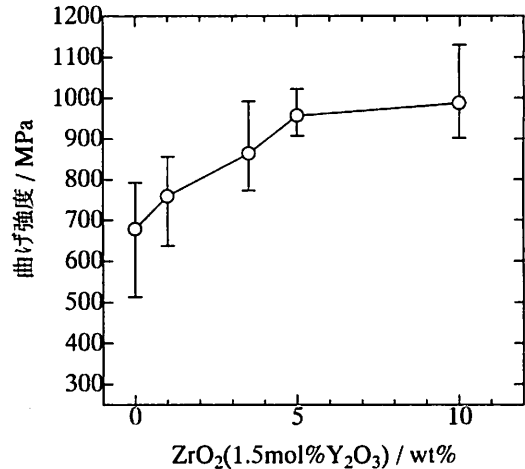


図4 1823Kで常圧焼成後、1723KでカプセルフリーHIP処理した焼結体のジルコニア分散量に対する曲げ強度の変化

Bending strength of samples capsule-free HIPed at 1723 K after normal sintering at 1823 K, as a function of ZrO<sub>2</sub> (1.5 mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) content

## (3) アルミナマトリックスの結晶粒径

原料粉末A~Eを用いて1873Kで常圧焼成によって作製した焼結体の破断面のSEM写真を図5((a)~(e))に示す。また、写真より計測したアルミナマトリックスの粒子径を表2に示す。ジルコニア量が多くなるにしたがって、アルミナマトリックスの粒子サイズは減少しており、ジルコニア粒子により、アルミナの粒成長が抑制されたと考えられる。しかし、ジルコニア量が5.0wt%のものと10.0wt%のものでは、粒径はほぼ等しかった。

セラミックスの粒径と強度との間には、実験的に式(1)に示す関係が成り立つことが知られている<sup>8)</sup>。

$$\sigma = \sigma_{\infty} + \sigma_1 D^{-1/2} \quad (1)$$

ここで、 $\sigma$ は強度、 $\sigma_{\infty}$ と $\sigma_1$ は定数、 $D$ は粒径を表す。そこで、粒径の平方根の逆数に対して曲げ強度をプロットしたものを図6に示す。両者の関係はアルミナ単体材を除き、一次関数で表現でき、式(1)を満足した。したがって、アルミナマトリックスの結晶粒微細化が焼結体の高強度化の一つの要因であると考えられる。特に、沈澱法を用いたジルコニアの分散方法では、ジルコニアによる粒成長抑制効果が、一般的な分散方法と比較して顕著に現れるため、少量のジルコニア量で、強度を大きく改善できたものと考えられる。

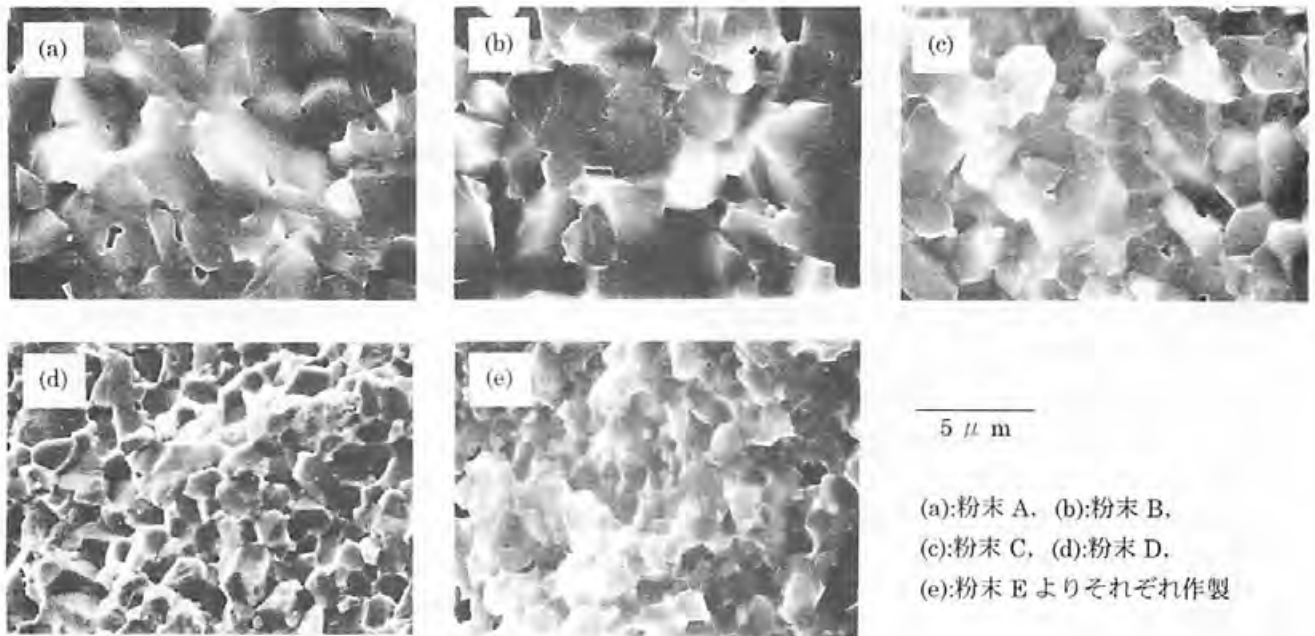


図5 1873Kで焼成した常圧焼結体の破断面のSEM写真  
SEM micrographs of the fractured surface of the samples normally sintered at 1873 K

表2 1873Kで焼成した常圧焼結体のマトリクスアルミナの平均粒径  
Mean Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> grain size of samples (from A~E) normally sintered at 1873 K

	出発粉末	マトリクス Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> の平均粒径 (μm)
(a)	A*	2.22
(b)	B	2.17
(c)	C	1.64
(d)	D	1.25
(e)	E	1.20

\*AL160SG-3のみ

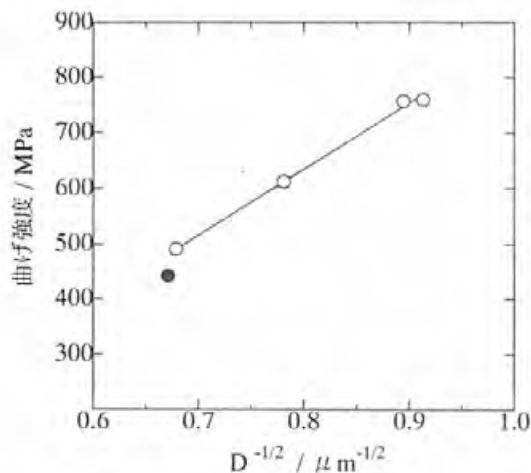


図6 1873Kで焼成した常圧焼結体の平均結晶粒径と曲げ強度との関係 (●は粉末Aより作製)  
Bending strength of samples normally-sintered at 1873 K as a function of D<sup>-1/2</sup> (D : grain size of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

(4) ジルコニアの分散

焼結体を TEM 観察した結果、3種類のジルコニア粒子の形態が存在することがわかった。すなわち、(a)アルミナ粒界3重点に存在する500nm程度の大きさのジルコニア粒子、(b)アルミナ粒内に取り込まれている100nm程度の大きさのジルコニア粒子、(c)アルミナ粒界に存在する厚さ100nm程度の板状ジルコニアが観察された。この内、タイプ(c)の板状ジルコニアとして、原料粉末C(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/ZrO<sub>2</sub>=96.5/3.5wt%)より1873Kで常圧焼成にて作製した焼結体のTEM写真を図7に示す。

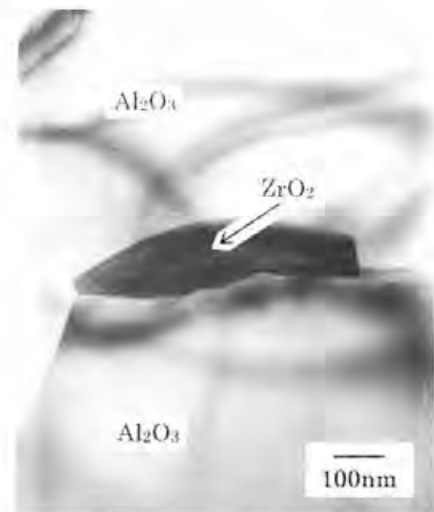


図7 粉末Cより1873Kで焼成した常圧焼結体のTEM写真  
TEM micrograph of the composite prepared from powder C normally-sintered at 1873 K

通常、アルミナ-ジルコニア系焼結体では、粒界および粒界3重点に粒子状で存在するタイプ(a)のジルコニア粒子が観察されるが、沈澱法で作製した焼結体には(c)の板状ジルコニアが観察された。沈澱法で作製した原料粉末では、ジルコニア超微粒子がアルミナ粉末周囲を広く覆っているため、焼結後も一部のジルコニアがタイプ(c)のようにアルミナ粒子を覆った状態で維持されたものと思われる。マトリックスアルミナの粒成長抑制に効果的なジルコニアは粒界3重点に存在する粒子といわれるが、3重点以外のジルコニアが粒子状ではなく板状で存在しているため、粒成長の抑制に効果的であったものと思われる。さらに、この板状ジルコニアがアルミナ粒子どうしの粒界結合力を向上させ、焼結体の高強度化にも寄与しているものと考えられる。

#### 4. 結言

沈澱法を用いて作製したアルミナ-ジルコニア系複合粉末より焼結体を作製し、ジルコニア量に対する焼結体の強度変化を調べ、微細組織より焼結体の強化機構を検討した。得られた主な結果を以下に列記する。

- ①常圧焼成およびHIP処理の両方において、ジルコニア量の増加とともに焼結体の強度が向上し、5.0wt%で強度向上がほぼ飽和した。
- ②少量のジルコニア量(5.0wt%)にも関わらず、1873K常圧焼結体で757MPaの平均曲げ強度が得られた。さらに、HIP処理を施すことにより、1GPa以上の最大強

度が得られた。

③ジルコニアの分散により、アルミナマトリックスの粒成長が抑制されたことが、高強度化の主要因である。また、沈澱法で作製した焼結体には板状ジルコニアが観察され、これが、アルミナの粒成長抑制、つまり、焼結体の高強度化に大きく寄与したものと考えられる。

なお、本研究は地域コンソーシアム研究開発事業「セラミックスベアリング用ナノ制御材料の研究開発」の一環としてNEDOの委託により行われたものである。

#### 参考文献

- 1) N. Claussen, *J. Am. Ceram. Soc.*, **59**, 49 (1976)
- 2) N. Claussen, J. Steeb and R. F. Pabst, *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **56**, 559 (1977)
- 3) Paul F. Becher, *J. Am. Ceram. Soc.*, **64**, 37 (1981)
- 4) S. Hori, M. Yoshimura, S. Somiya, R. Kurita, H. Kaji, *J. Mat. Sci. Let.*, **4**, 413 (1985)
- 5) 久米秀樹, 西川義人, 稲村偉, 宮本大樹, 山部邦宏, 前田岳志 *ニューセラミックス* **10**, No.2, 7 (1997)
- 6) H. Kume, Y. Nishikawa, S. Inamura, H. Miyamoto, K. Yamabe, and T. Maeda, *The Review of High Pressure Science and Technology*, **7**, 1087 (1998)
- 7) H. Kume, Y. Nishikawa, S. Inamura, H. Miyamoto, K. Yamabe, and T. Maeda, *The Science of Engineering Ceramics II* 303 (1998)
- 8) S. C. Carniglia, *J. Am. Ceram. Soc.*, **55**, 243 (1972)

# 間伐材の木炭化（第2報） —可搬型小型製炭システムの試作—

## *Carbonization of Logs from Thinning (2nd Report)*

— Development of Small Size and Movable Carbonization System —

表原 靖男\* 入江 年優\* 井本 泰造\*\*  
Yasuo Omotehara Toshimasa Irie Taizo Imoto  
谷口 正志\*\*\* 高橋 弓弦\*\*\*\* 夏川 一輝\*\*\*\*\*  
Masashi Taniguti Yuzuru Takahashi Kazuki Natukawa

(1998年10月26日 受理)

We researched the carbonization of the logs from thinning for the effective use of the logs.

In the 1st report, we reported on the effect of the heating pattern of the furnace on properties of the charcoal obtained by the carbonization test of logs with the combustion tube type furnace.

This paper describes the outline of a practical and movable carbonization system built as a trial, and the experimental results with this system.

The outlines are as follows;

1. The rapid heating at the beginning of the carbonization results in the cracking of logs by the instant vaporization and expansion of water and volatile matters contained in the logs.
2. The refining degree of the charcoal is influenced considerably by the temperature of the kiln.
3. The small size and movable batch type carbonization system is the most suitable for the carbonization of the logs at the place carried out the thinning

It is possible to produce the charcoal with desired properties by the temperature control and inlet air control in the furnace.

キーワード：間伐材，小型製炭システム，精錬度

### 1. はじめに

大阪府内の森林の健全な育成を図るためには適正な間伐の実施が必要である。しかし、種々の理由により間伐が推進できておらず、また間伐材の利用率も1割程度にとどまっている。このため大阪府研究総合調整事業として、間伐材を木炭に加工することにより付加価値を高め、木炭や木酢液の用途開発を行い、間伐の促進、森林の保全に寄与することを目的に研究を開始した。第一報<sup>1)</sup>で

は、製炭の基礎的事項を把握するため、燃焼管式実験炉による炭化実験を行い、スギ、ヒノキなどの間伐材の炭化物性状に及ぼす製炭温度の影響について報告した。本報では、これらの基礎実験の結果や種々の製炭炉の調査結果に基づき試作した実用規模の小型製炭炉システムの概要およびそれを用いて行ったヒノキの間伐材の製炭実験結果について報告する。

### 2. 製炭炉システムの試作

試作した製炭炉システム全体の概略を図1に示す。本システムは、①製炭炉本体、②木酢液回収装置、③悪臭除去装置、④排風機、⑤計測装置で構成される。

製炭炉本体としては、

①製炭部内容積が500Lであり、本実験の規模として適当である。

\* システム技術部 熱燃焼グループ  
\*\* システム技術部 環境システムグループ  
\*\*\* システム技術部 制御システムグループ  
\*\*\*\* 材料技術部 環境関連材料グループ  
\*\*\*\*\* 材料技術部 有機材料グループ

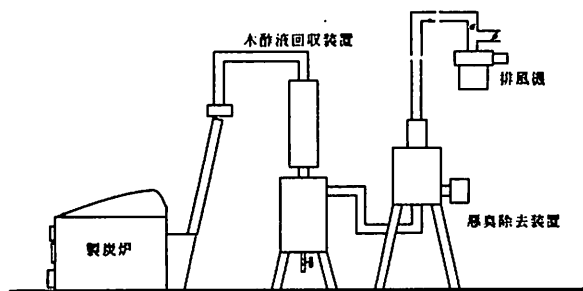


図1 製炭炉システムの概略

Schematic of the carbonization system

表1 製炭炉本体の仕様

Specification of the charcoal kiln

長さ	136 cm
ベースプレート長さ	245 cm
" 幅	150 cm
高さ	120 cm
入口幅	40 cm
煙突高さ	200 cm
炭化室容積	約0.5 m <sup>3</sup>
炭化材投入量	200 kg/バッチ
重量	約1トン

②天井部が上方に開く構造になっており、材料の炉内への搬入や木炭の搬出作業が容易にできる。という点で、本研究に適している可搬型バッチ炉を選定し、本体に観測窓を持つ前板部および測定孔等を設け、さらに各種付帯設備を試作し実験に適するよう改良を加えた。

製炭炉本体の仕様を表1に、概略を図2に示す。なお、本図には炉内温度などの測定孔の取り付け位置も示した。また、試作した木酢液回収装置の構造を図3に示す。木酢液回収装置や悪臭除去装置に製炭炉から出る乾留ガスを吸引するため排風機を用いているが、この背圧が製炭炉内へ影響しないようにするため、吸引部を製炭炉の煙道に直結するのではなく、少し間隙をあけて外気とともに吸引する構造とした。外気とともに吸引された乾留ガスは二重円筒構造の外側を流れる冷却水で乾留ガスに含まれる木酢液成分は冷却され凝縮しタンク内に捕集される。ここで凝縮されない悪臭成分ガスは次に続く悪臭除去装置へ送られる。

実験場所の周囲環境を保全するため強い刺激のある悪臭ガスを除去する必要があるため、図4に示す構造のアフターバーナ方式悪臭除去装置を試作した。本装置は耐火物により内張りされた縦型円筒炉で、接線方向に取り付けられたガンタイプバーナ(灯油燃焼量; 1 gal/h) 火炎により、本装置下部から吸引された製炭炉からの排出ガス中の悪臭成分である未燃炭化水素を燃焼処理し大気中へ排出する。本製炭炉システムの最下流部に製炭炉から排出される乾留ガスを吸引するため耐熱型の排風機を設置し、その風量はバイパス経路及び本流の調整用ダンパー開度により調節する。

### 3. 計測装置

製炭中の炉内温度の経時変化を見るため図2に示すように炉内に11本のK型シース熱電対を挿入し、そのデー

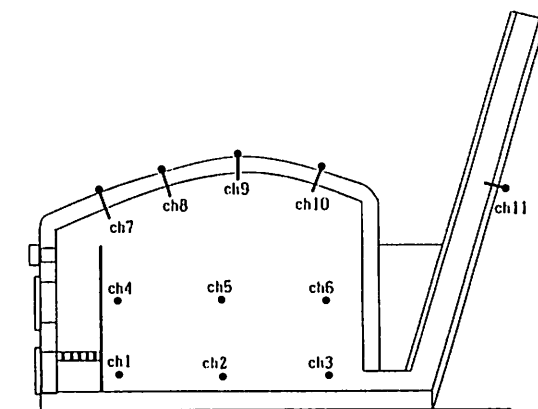


図2 製炭炉本体と熱電対の位置

Outline of the charcoal kiln built as a trial and location of the thermocouples

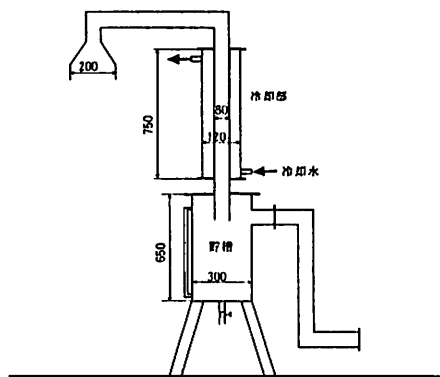


図3 木酢液回収装置

The withdrawal equipment of the wood vinegar

タをデータロガーに収録し、コンピュータにより処理を行う。また、煙突から排出される乾留ガス中の一酸化炭素、二酸化炭素及び酸素濃度は赤外線式ガス濃度測定装置(島津製; CGT-7000)により測定する。ただし、乾留ガスの成分中には通常の燃焼生成物である、一酸化炭素、二酸化炭素、酸素、窒素以外に木酢液の成分となる凝縮性ガスや未燃の炭化水素類およびすす、タールなどが多量に含まれており、計測器内に常時ガスを吸引すれば瞬く間にフィルターやドレンポットなど前処理部が汚濁さ



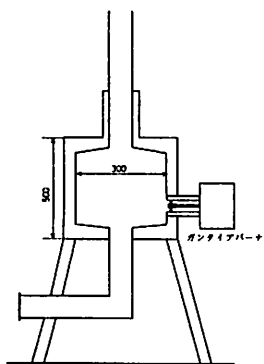


図4 悪臭除去装置  
The deodorization equipment

れ、その結果、計測器の命であるセンサー部が汚損し使用不能に至るため、常時計測は行わず、30分毎に5分間だけ計測するようにした。約3分強で吸引チューブ中のガスがサンプルガスで置換され、指示値が安定することを確認している。計測装置のフローシートを図5に示す。

#### 4. 試作製炭炉による製炭実験

##### (1) 製炭プロセス

ヒノキの間伐材の製炭は、通常5日間程度必要で、その標準的な実験作業スケジュールは表2に示すとおりである。実験用の標準資材として、河内長野森林組合より入手したヒノキの間伐材を使用した。間伐材はその寸法を長さ70cm、径約15cm以内に揃え、製炭炉に投入する重量を計測した後、奥から順に縦に、できるだけ密になるように充填した。さらに点火材として、端材や細木などを炉天井一杯まで炉内にまんべんなく詰めした後、炉天井及び前扉を閉め、空気調整口、煙突を全開にし焚き口より点火材に点火した。焚き付け開始から約3～5時間ぐらいで、炉内部の点火材に着火したことを確認した後、焚き付けを終了する。その後上部焚き口、下部焚き口を密閉し、空気調整口、煙突のダンパーで流入空気量を抑制し炉内温度が低下しない状態で保持する。この間に炭化が進行する。この時点では木酢蒸気を含む煙が激しく発生し、木酢液が大量に捕集される。炭化が終了に近づいてくると炉内の温度が上昇し始め、排煙量が少なくなる。この段階で炭化の最終過程である精錬を行う。精錬とは、一旦空気調節口、煙突を全開にして、大量の空気を炉内へ流入させ一気に燃焼を活発にし、炉内温度を急激に800～900℃近くまであげることにより木炭の組織を開めグラファイト化を完成させる行程である。煙がなくなれば空気調節口および煙突を完全に密閉し精錬は終了する。空気調節口、煙突とも全閉の状態でも炉内温度が、炉天井をあけても再燃焼がしない40℃まで下がるのを待

ち、冷却が完了すれば炉の前扉および炉天井を開け、木炭を取り出す。

##### (2) 実験方法

実験は、まず炉内への流入空気をあまり絞らない急速昇温と製炭の初期段階では、製炭炉中央下部の温度(ch2)が100℃以上にならないように監視しながら、空気流入口の開度調整を行い、流入空気の調整を行い昇温速

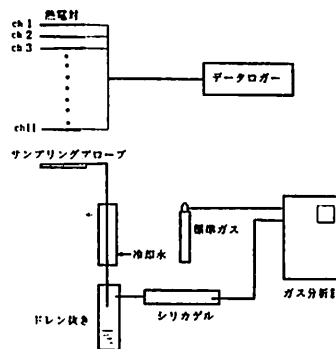


図5 計測装置のフローシート  
Flowchart of the measuring system

表2 標準的な製炭作業スケジュール  
Standard program of the carbonizing operation

(1日目)	①準備 (炭材、計測器調整)
( " )	②炭材の詰め込み
( " )	③点火材の詰め込み
(2日目)	④点火作業 (焚き付け)
( " )	⑤炭化開始 (焚き付け終了)
(2～4日目)	⑥炭化 (空気調整) *
(4日目)	⑦精錬 - 炭化完了
( " )	⑧窯内部の冷却
(5日目)	⑨木炭の取り出し

\* 急速炭化実験ではこの期間を短縮

度を抑えた緩慢昇温で実施し炉内温度分布の経過と製品木炭の性状について検討した。さらに炉内の偏流を除去するため、邪魔板を設置した改造炉で製炭実験を行った。

実験に先立ち、計測準備として、K型シース熱電対温度計を炉内の所定の位置にセットし、出力をデータロガーに取り込めるよう調整した。また、炉内ガスの成分分析用のサンプリング前処理部のフィルタ、ドレンポット、除湿用シリカゲルの点検とガス分析装置の校正を行った。なお、乾留ガスの木酢液回収装置への吸引力の調整は吸い込み口フードと排風機ダンパの開度調整により行った。

## 5. 実験結果および考察

### (1) 炉内温度

図6および7に急速昇温、緩慢昇温の炉内温度分布の経時変化を示す。なお、温度の自動計測は炉内および煙突部に設置した11点の測定点について5分間隔におこなったが、データが煩雑になるので、図には炉内中央部、上・中・下段の温度のみで示す。緩慢昇温では、空気流入口の開度調整を行い、流入空気量を少なくしたため、図7で明らかなように炉内温度の上昇速度は急速昇温に比べて約1/2、すなわち製炭時間としては約2倍になった。両図において、上部のch9の温度は入口着火部に最も近いこともあり、初期の段階で急激に温度が上昇し、かつ焚き付け材の投入時や燃焼により影響を受けるため激しく脈動している。中段のch5の温度も時間と共に徐々に昇温している。下段のch2の温度は最も熱ガスが通りにくいいため温度が低くなっているが、製炭の最終段階に近くなるとこの温度も上昇し始め、炭化が炉下部まで進行していることがわかる。製炭の最終段階である精錬作業の時点では、いったん空気調節口を開放し炉内へ空気を急速に導入すると、炉内で再燃焼が起こるため炉

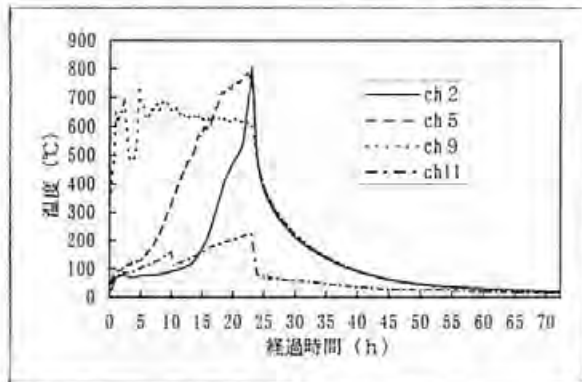


図6 炉内温度の経時変化（急速昇温）

Change of the kiln temperatures with time  
(at the rapid heating)

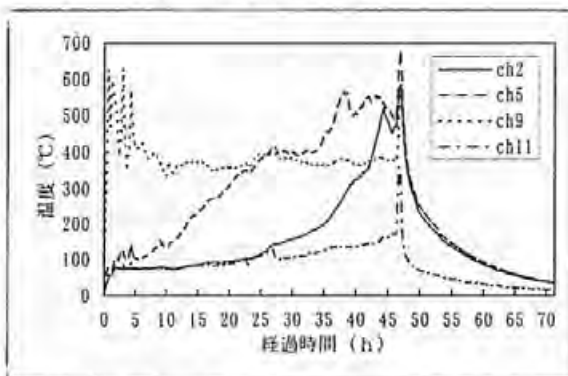


図7 炉内温度の経時変化（緩慢昇温）

Change of the kiln temperatures with time  
(at the slow heating)

内の温度は急上昇を始め、各部で最高温度を示している。この後、全閉にして空気を完全に止めると燃焼が停止するため炉内の温度は急速に低下している。

### (2) 排ガス性状

排ガス濃度については煙突部にサンプリングブローブを挿入し実測したが、連続計測が不可能であるため30分置きに手で計測した。したがって、夜間の実験者不在時の計測はできなかった。焚き付けを行っている時間帯では、排ガス中のCO<sub>2</sub>濃度は12~18%、CO濃度は3~5%、酸素濃度は1~7%の範囲でかなり大きく変動したが、焚き付けが終わり炭化過程が始まる3時間後からは安定した。

### (3) 木炭の外観性状

図8および図9に急速昇温と緩慢昇温の木炭の外観写真を示す。急速昇温では木材内部の水分や揮発成分の急激な酸化・膨張による木炭の内部破裂を起こしている。また、流入空気中の酸素によって燃焼の進行が促進される結果、灰化の割合も多くなった。製造された木炭は比重の軽い消し炭様のもので、燃料として使用するのは無理であろうと思われた。緩慢昇温でも製炭終了時の焚き口に近い部分の状況は急速昇温の場合と同様、炭化を乗り越えて灰化・消滅しており、この部分では多量の空気により燃焼が活発であったことがわかる。しかし製炭初期の段階の昇温パターンを緩慢昇温にした今回の結果では、外観写真で明白なとおり、急速昇温に比べて内部破裂の発生が少なく、木炭の外観形状は概ね良好で、電気炉で行った基礎研究の結果が確認できた。しかし木炭はこの場合でも消し炭様のものでしか製造されず、燃料としては低品質のものしか得ることができなかった。

急速昇温のヒノキ材投入量は着火用木材を除いて169.8kgで、木炭収量は25.6kg(15.1%)、緩慢昇温の投入量は163kg、木炭の収量は28.9kg(17.7%)で、急速昇温に比べて収率が少し増加した。



図8 木炭の外観  
(急速昇温)

Appearance of  
the charcoal  
(at the rapid heating)



図9 木炭の外観  
(緩慢昇温)

Appearance of  
the charcoal  
(at the slow heating)

(4) 温度履歴と精錬度

以上の結果、間伐材の木炭の用途としては、燃料用よりもむしろ土壌改良用や水質浄化用、調湿材的な用途の可能性が高いことから、処理量を増加させる方が得策であると考え急速製炭とした。また、炭材などの詰め方等により炉内の熱ガスの流れが一様でなく、偏流をしているようで、箇所により木炭の性状がばらつき、温度等との関連を確認できなかった。そこで、図10に示すように炉内に鋼板製邪魔板を設置し、炉内ガス流の流路を変更しガスの偏流をなくし、温度との関連が検討できるようにして製炭実験を行った。さらに、炉内への流入空気量の微調整を容易にするため空気吸入口にバルブを取り付け、また煙道ガス濃度の計測も含めて全データの計測を自動化するシステムを開発したので、炉内温度分布と合わせて製炭状況の連続的な変化を求めることが可能となった。この場合のヒノキ材の投入量は 142.2kg、木炭の収量は29kg(20.4%)であった。

炉内の各位置で得られた木炭の精錬度を示す電気抵抗値を表3に示す。入口に近い領域1の位置では燃焼が急速に進むためほとんど灰化していたが、領域2の位置、特に中心部は完全に炭化しており、木炭の電気抵抗は非常に小さく、0~2 Ω/cm程度で高い精錬度を示した。

しかし領域3での位置で採取された木炭は外観は木炭であるが、電気抵抗を測定すると測定限界の10MΩ/cm以上を示し精錬度が低く炭化が進んでいないことがわかる。このように木炭の性状は、第1報<sup>1)</sup>で述べたようにその部分の温度履歴に非常に影響を受けていることが実規模の本製炭炉においても確認できた。

図11は領域2及び3の中心部温度ch5とch6の経過だけを示したものである。本図で明らかなように、精錬度の高い木炭が得られた位置ch5の温度は炭化時の温度が約400℃近くあり、精錬時には900℃まで上昇していることがわかる。これに反して、精錬度の低い木炭が得られた位置ch6の温度は炭化時の温度も300℃程度で低く、また精錬時の温度も450℃程度しか上昇していないことがわかる。この結果、木炭の精錬度を向上させるためには、炉内の温度と酸素濃度を常時監視し調整することにより、例えば今回の実験の炉内領域2の中心部のデータと同様の温度履歴が得られるように制御すれば良いことがわかった。

6. まとめ

実規模の小型可搬型製炭炉を製作し、ヒノキの間伐材を用いて製炭実験を行い次のようなことがわかった。

①製炭温度によって木炭の精錬度は決定される。

木炭がグラファイト化するためには、600℃以上の温

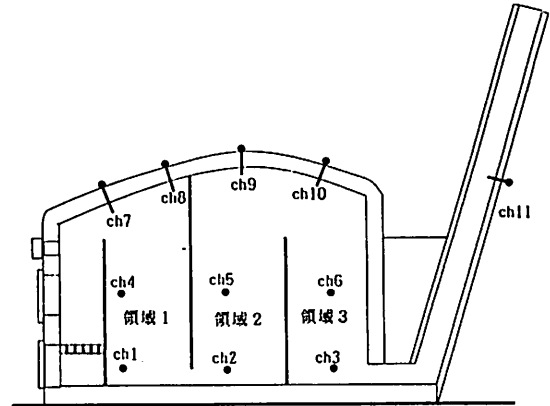


図10 邪魔板による炉内分割の概略

Outline of the kiln divided by the partition plates

表3 木炭の電気抵抗値

Electric resistance of the charcoal

炉内の領域		Ω/cm		
		左側	中央	右側
領域2	上段	∞	2 (ch9)	300
	中段	∞	1 (ch5)	600
	下段	∞	0 (ch2)	1
領域3	上段	∞	170K (ch10)	∞
	中段	∞	∞ (ch6)	∞
	下段	∞	∞ (ch3)	∞

但し、(ch9)~(ch3)：炉内の試料採取点に近い温度センサーの番号

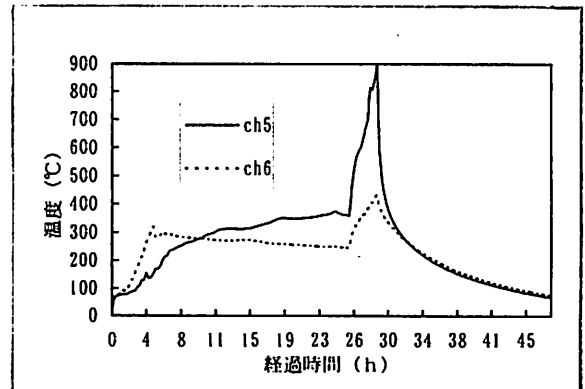


図11 炉内温度の経時変化

Change of the kiln temperatures with time

度履歴が必要である。

②間伐の行われる現場で製炭するとすれば、トラックで搬入可能な小型可搬型バッチ炉が適している。また、炉内の温度制御、雰囲気制御を行えば、希望する性状の木炭を得ることが可能である。

参考文献

- 1) 表原靖男他：“間伐材の木炭化（第1報）”，大阪府立産業技術総合研究所報告，No. 11，42(1998)

# ネットワークシステムとデータベースの設計

## 第3報 情報利用が容易な物品管理システムの開発

### *Design of Network System and Database*

### *3rd Report; Development of Material Management System*

竹田 裕紀\* 中辻 秀和\*  
*Hiroki Takeda Hidekazu Nakatsuji*

(1998年10月30日 受理)

Enterprises purchase a lot of articles such as various sub-materials as well as main raw materials. The management for these articles has been done very roughly, but because of the recent economic depression, it has become an urgent issue to develop an accurate management system for all kinds of purchased materials in order to lower costs.

In this report, we show an example of the development of material management system in a hospital where about two thousand kinds of items are being used. Based on the example, we report on prevention of overstocking by checking inventory conditions of materials at any time, management methods for planned purchasing and delivering, designing data-base suitable for them, and utilization of accumulated information.

キーワード：ネットワークシステム，データベース，在庫管理，発注管理，支給管理

#### 1. はじめに.

企業は主原料以外にさまざまな副資材など多くの物品を購入している。これらの管理はこれまでおおまかに行われていたが、経済不況の現今ではコスト低減のためにあらゆる購入物品のきちんとした管理が緊急の課題となっている。生産現場優先でともすれば過剰在庫になりがちな各種副資材の適正在庫の維持、緊急に必要となり、現場から納入業者へ直接発注・購入した場合の資材課での後処理の方法、計画的購入の推進、より安価な代替品の検討や使用期限などによって廃棄・不要品になるものの減少、現場から要求される物品が使用目的に妥当かどうかの検討など、物品管理を適切に行うにはさまざまな課題に対応する必要がある。

本報では約 2,000 種類の物品を使用している病院での物品管理システムの開発例をもとに、物品の在庫状況が随時に把握できることによる過剰在庫の防止、計画的な購入と支給を行うための管理方法、それに適したデータベース（以下DBと略称する）の設計、蓄積情報の利用などについて報告する。

はじめに物品管理業務の担当部署である資材課を中心にしたネットワーク構成と物品管理システムの概要につ

いて述べる。次に資材課のパソコンサーバと病棟各現場のパソコン端末上のシステム構成について説明し、続いて物品管理を計画的に行い、コスト低減のための管理方法一約 2,000 種類の物品の分類の仕方、現場からの物品要求の妥当性を検討するための二段階管理の方法について述べる。さらに適正在庫管理を行う方法とそのためDBの設計について詳述する。最後に多くのDBに日々蓄積される実績情報を利用する方法について規定帳票の種類やExcel97 (Microsoft社製)などの表計算ソフトの利用例をもとに述べる。

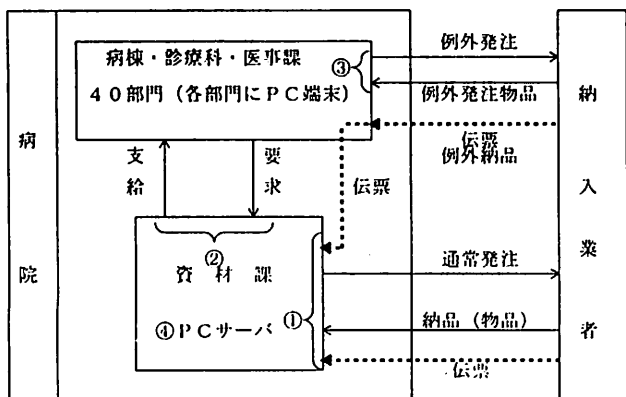
なお、本研究はネットワークシステムとデータベースの設計に関する一連の研究に続くものである。<sup>1) 2)</sup>

#### 2. システムの概要

本システムは、図1に示すように、資材課に設置したパソコンサーバをメインとし、病棟(5棟)および整形外科、外科、脳外科、内科、眼科などの診療科、医事課など約40部門(以下病棟現場と呼ぶ)に端末パソコンを設置したコンピュータネットワークシステムである。このシステムで処理する業務内容と主要な管理システムは次の4つである。

①資材課と納入業者間での物品の発注と納品に関する業務であり、発注納品管理として処理する。

\* システム技術部 情報処理グループ



①発注納品管理, ②支給管理, ③例外発注管理, ④情報活用管理

図1 物品管理システムの概要

Outline of material management system

②病棟現場から資材課への消耗品、備品などの物品の要求と、資材課から病棟現場への物品支給業務であり、支給管理として処理する。

③病棟現場と納入業者間の直接交渉による物品の例外発注と例外納品業務であり、例外発注管理および資材課での発注納品管理として処理する。

④蓄積された情報を利用する業務であり、在庫管理および情報活用管理として処理する。

ここで③の例外発注が必要になるのは、病棟現場で使用する物品の中には、手術用物品のように現場担当者の専門的な知識がないと特定することのできないものや緊急時に必要なものが発生することがあり、資材課職員では対応できないためである。このような専門知識と緊急性による物品に関しては、例外的な発注処理を認めており、現場から納入業者に対して直接発注し、物品が現場に納品された後、業者からの納品伝票だけが資材課に回される。コンピュータ処理としては、①の発注納品管理と②の支給管理の2つの管理を連続して行う。操作上では例外管理として一度の処理で両方の処理ができるようになっている。しかし、資材課での納品確認ができないため物品の管理面からいえばできるだけ避けたほうがよい。

### 3. システム構成

本システムの開発に用いたソフトは RDB ソフト Access97 である。また、蓄積したデータを利用するための表計算用ソフトには Excel97 (Microsoft 社製) を用いる。

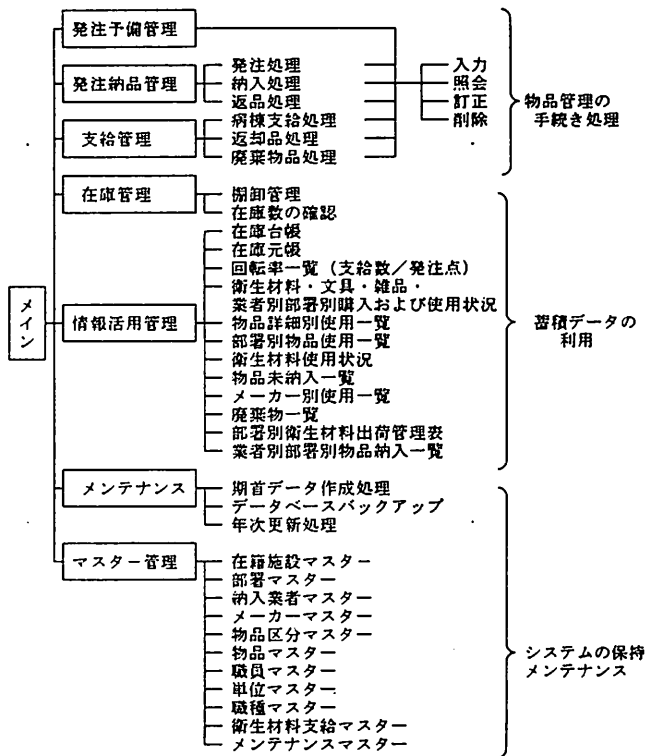
図 2, 3に資材課のパソコンサーバ上および病棟現場での端末上のシステム構成をそれぞれ示す。図2のシステム構成の特徴をグループに分けると

- ・物品管理のための手続き処理

- ・蓄積データの利用
- ・システムの保持およびメンテナンスに大別できる。

### 4. 物品管理システムの導入効果

本システムは、コンピュータネットワークを物品情報や在庫情報の伝達手段として用いることにより情報不足



プログラム (処理) 総数 107 本

図2 システム構成 (パソコンサーバ)

Structure of material management system (Server)

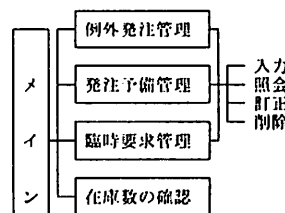


図3 システム構成 (端末パソコン)

Structure of material management system (Client)

から起こる次のような問題の解決を図った。

#### (1) 現場からの過剰要求

システムの導入前は、病棟現場で必要となった物品の要求は病棟現場の担当者が伝票へ記入し、それを資材課へ持って行くことで行われていた。このため、資材課にどの程度物品が残っているかが分からず、病棟現場での欠品を防ぐため、ともすると過剰気味に物品要求が行わ

れていた。このような無駄は物品に関する情報が資材課から病棟現場へ伝達されないということから発生する。

このため病棟現場のコンピュータ端末で、物品の個々の在庫状況を確認しながら物品を要求することができるようにして過剰要求を減らすとともに、資材課のさまざまな在庫物品の効果的な利用ができるようになった。

### (2) 代替品問題への対処

病棟現場では資材課で取りそろえている物品の種類をつかめないで、代替品がどの程度（量的・質的）可能なのかがわからず、このため代替が可能であるにもかかわらず、仕入れを待つという状況や低価格の代替品の購入ができにくかった。

このため物品要求時に代替品情報を提示することで問題の解決を図った。

### (3) トラブル時の対策

伝票による情報伝達では、伝票を紛失するおそれがあり、要求が伝わったかどうかの確認ができにくい。本システムでは、物品の要求がいつ、誰によって、何を、いくつ、要求したかという履歴情報がDBに蓄積されるため、要求物品が支給されなかったときのトラブル原因の追求を容易に行うことができる。

## 5. 物品管理に適したデータベースの設計

### (1) 厳密な管理を必要とする物品（常備品）と一般物品との分類

病院で取り扱われる約 2,000 種類の物品を同じように管理するには、多くの人手と手間・時間を要する。これを避けるために表 1 に示すように業務上欠品が許されない物品や支給数が多い定番品などを高い管理レベル、反対にまれにしか支給しない物品を低い管理レベルとするように物品マスターDBに属性として登録できるように設計する。

ここでの分類は価格による分類ではなく、在庫管理を行う上での数量的な大小、欠品が許されるかどうかという基準で選ぶ。このようにして分類すると高い管理レベルを必要とする物品は 130 点であり、それ以外の大多数の物品は低い管理レベルでよいことになる。高い管理レベルの物品は、仕入数、支給数、返品数、返却数の管理を週 2 回の割合で行い、その都度棚卸管理を行う。逆に低い管理レベルの物品は、月に 1 回程度の割合で棚卸管理を行う。ここで返品は不良品などを納入業者へ返すことであり、返却は病棟現場から資材課に返すことである。

こうすることによって棚卸管理や在庫管理が効率的に実施できるようになる。

### (2) 物品の3段階の分類

表 1 物品の管理区分

Classification of material management

( ) 内の数字は区分数あるいは物品数を示す。

大区分 (3)	中区分 (30)	高管理レベル (128)	低管理レベル (1741)
文 具 (338)	カルテ系	/	カラーネーム
	テープ系		ビニールテープ
	写真系		ポラロイドフィルム 66
	ペン系		マジックインキ
	コンピュータ系		コクヨ連続伝票用紙
衛生材料 (1388)	マスク系	紙マスク	サージカルフェイスマスク 麻酔マスク
	針系	TOP製針、 注射針、インサイト	カテラン針、 ルアニテアブタ
	カテーテル系	シリコンカテーテル18F シリコンバルブカテーテル	ホラトンカテーテル ニクシ有管カテーテル
	活栓系	ミトゾブメイト 三方活栓	金属、 <sup>2</sup> 方活栓 ミニアイスホリ子栓
	計器系	電子体温計	ストロ型 血圧計
	手術着系	/	メデイカルキャップ
	注射器系		ガラス注射器 外筒 5ml
	雑 品 (143)	生活用品一般	まゆそり用カミソリ
袋系		/	ビニール袋二層品
電気系			マンガン乾電池
洗浄系			マジックリン
履き物系			スリッパ
手袋系			ビニール手袋
タオル系			バスタオル
刃物系			

コンピュータ入力では、目的となる物品を約 2,000 種類の中から特定しなければならない。物品の特定を容易にかつ短時間に行うには、表 1 に示すように物品を 3 段階（大区分と中区分と個々）で管理する。たとえば担当者はまず大区分で雑品、文具、衛生材料の一つを選択し、次にその大区分に属する中区分の一つを選択する。こうすることで物品は数十種類に絞り込まれるため物品を容易に特定することができる。

### (3) 発注および支給に関する二段階処理

本システムでは物品の発注と支給に関して過剰発注や無駄な支給を防止するため、それぞれ二段階の処理を経て実施するようにDBを設計している。

#### <発注>

第一段階で発注予備管理を行うことにより、病棟現場から購入要求されるすべての物品一覧を購入依頼実績DBに作成する。

第二段階では、資材課で購入依頼実績DBを呼び出し(1)物品ごとに資材課での在庫状況と在庫水準を確認する。

(2)病棟現場からの購入要求に対し代替品はないかまたは価格的に妥当なものであるかどうかをチェックする。

以上の段階を経た後、妥当な物品について発注する。

#### <支給>

資材課での支給管理は、図 4 に示すように臨時要求と支給の二段階の処理を経て行われる。

第一段階の要求処理では、図 4 に示すように物品の支給の元となるデータを物品要求実績DBに格納する。支給データを作成する方法には二通りある。ひとつは定期的に支給するリピート品のためのもので図 4 の左側の定期支給物品に対応する。二つ目は臨時的な物品の臨時要

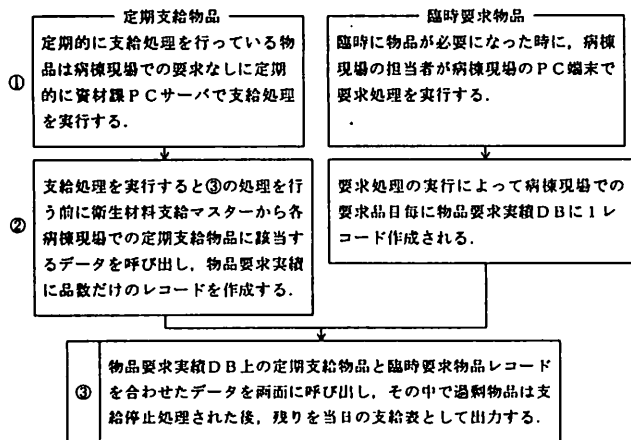


図4 物品の要求処理と支給に伴うデータベースの作業手順  
Working procedure of database for request and supply of materials

求に対するもので図4の右側に示す。

定期支給物品とは、年間を通じて定期的に支給する物品であり、衛生材料支給マスターDBに370種類登録している。支給処理を実行すると自動的にこのDBから各病棟現場での定期支給物品に該当するデータを呼び出し、物品要求実績DBに格納する。なお図2に示すように資材課のシステム構成において支給管理だけで要求管理の項目がないのはこのためである。

臨時要求物品とは、定期支給物品でも大量の使用が見込まれるものや定期支給物品以外の臨時に必要なものである。病棟現場の端末を用いて、部署、担当者、臨時要求品目、数量、単位、日付を入力すると物品要求実績DBに1レコードのデータが格納される。

第二段階の支給処理では、物品要求実績DBに登録されたすべての要求データを画面に表示して、臨時要求の妥当性や過剰要求でないかなどをチェックした後、病棟現場ごとの支給物品データを支給実績DBに登録する。同時に支給表を印刷する。

こうして作成された支給表をもとに個々の物品が取りそろえられ、病棟現場に物品が届けられる。

### 6. 蓄積情報（一次データ）の利用

本システムでは蓄積情報の利用法を二つに分けている。一つは本システム内で規定帳票として利用する方法で、期間や項目の入力後、自動的に集計作業を行い、画面表示や規定帳票として印刷利用する方法である。他方は、表計算ソフト Excel97 から直接DBを参照し、表計算ソフトを使って要望に応じた帳票やグラフを表示・印刷する方法である。

前者は容易に規定帳票を作成できるが、ルーチンワークであり、固定的な分析しか行えないし、事前にプログラム作成が必要である。後者は細かな設定をしなければ帳票の作成を行えないが、随時に要望に応じた分析ができる利点がある。表2に帳票例と関連DBを示す。

表2 帳票例と関連データベース  
Example of sheets and databases

帳票類	基となるデータベース
物品在庫元帳	物品在庫期首実績、廃棄実績、返品実績、支給実績
物品在庫台帳	物品在庫期首実績、廃棄実績、返品実績、支給実績 返却品実績、納入実績
返却品一覧	返却品実績
購入および使用状況	物品在庫期首実績、廃棄実績、支給実績、返却品実績 納入実績、物品マスター
物品詳細別使用一覧	支給実績、返却品実績
部署別物品使用一覧	支給実績、返却品実績
業者別部署別物品使用一覧	支給実績、業者マスター
物品未納入一覧	発注実績、納入実績
メーカー別使用一覧	表計算ソフトを使用し、臨時必要なデータベースを参照する。頻度が増せば在庫管理システムに組み込む
廃棄物一覧	
廃棄実績	
返品一覧表	

なお本システムでは、次の例で述べるように後者の場合に情報利用が容易にできるようにDBの設計に工夫を凝らしている。

図5に支給管理で使用する支給基実績DBと支給実績DBの構造およびレコードに格納されたデータ例を示す。この二つのDBを一つのDBで管理するとすれば、右側の結合DBの例のように支給日と部署コード（病棟現場）を同じにする物品数だけの複数レコードのグループができる。つまり同一の支給日と部署コードが複数のレコードに重複して存在することになり、DBの設計としては勧められない。たとえば部署コードをグループとして訂正を行う必要がでた場合、後者のDBでは該当レコードをすべて検索し訂正する必要があるが、前者のようにグループを特定するための支給基実績DBとそれらの詳細情報を保管するための支給実績DBとに分割して情報を管理していると、基レコードを1レコード訂正するだけでよいことになる。

また、これらの二つのDBに蓄積された情報を参照する場合には、DBの結合機能を用いて図5右側の例のように外見上一つのDBとして参照することは容易である。

さらにこの支給管理のためのDBは、他のDBから独立して設計しているため、それ以外の管理・処理に影響されないことである。表計算ソフトからこのDBにアクセスするとき他のDBを考慮する必要がないのでデータの並び替えや集計を行うのに便利である。その上図5の結合した参照用DBの構造は支給台帳と同様な並びになる。

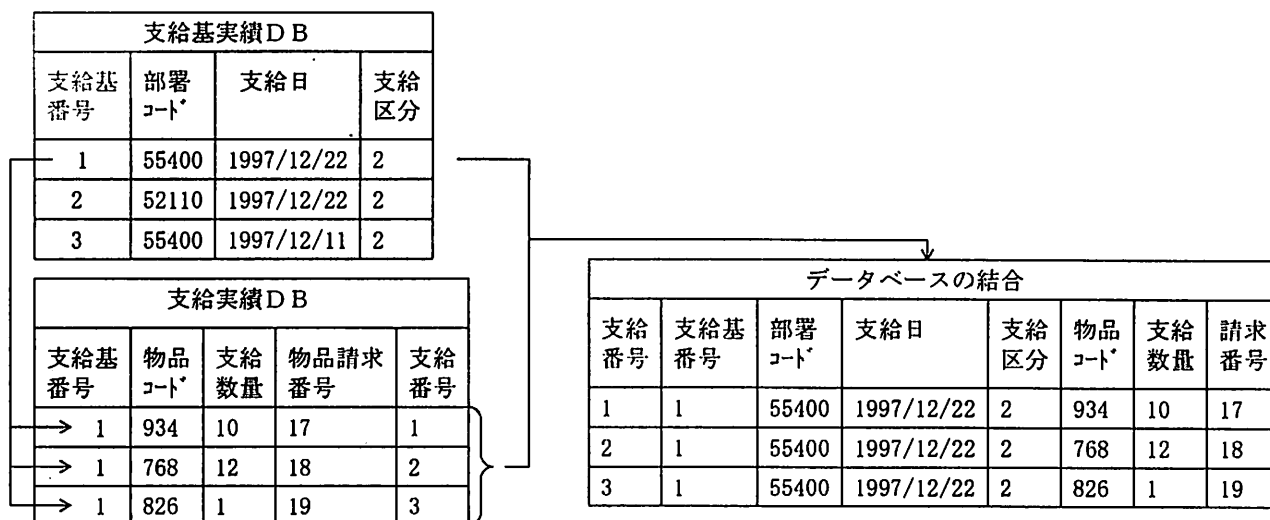


図5 支給管理で使用する実績データベースの構造と結合例  
Example of structure of supply management databases and combined database

っており、ユーザにとってDBの構造が理解しやすい内容となっている。このため新たな規定帳票をプログラムすることも容易にできる。

その他本システムで使用する納品や返却、廃棄、返品を扱うDBも同様な構造である。

ところで現在庫数などはひとつの実績DBの集計だけでは求められない項目であるが、図6のように相互に独立したDBを用いて次式によって求めることができる。

$$\text{現在庫数} = (\text{直前の棚卸数} + \Sigma \text{納品数} + \Sigma \text{返却数}) - (\Sigma \text{支給数} + \Sigma \text{廃棄数} + \Sigma \text{返品数})$$

このように現在庫数は、ひとつのDBを集計すると同様に個々のDBを独立して集計し、合算することで求めることができる。このためプログラムも容易に作成でき、表計算ソフトからも容易にアクセスできる。

## 7 まとめ

本報では多くの物品を購入し各病棟現場に支給する病院での物品管理システムの開発事例をもとに、適正在庫の維持、計画的な購入と支給によるコスト低減のための物品管理をシステム化するための方法について報告した。

約2000種類に及ぶ多くの物品をすべて同じように厳密に管理することは、人手で行うのは当然無理なものの、コンピュータによる場合でも入力処理だけで時間がかかり、実用的ではない。このため物品の利用上の重要性や使用頻度などを考案して管理レベルを高低の二段階に分けるとか、物品の属性を考案して大中小の区分に分類することによって、棚卸管理や在庫管理の効率化、検索時間の短縮化を図ることができた。

また現場から資材課への物品要求をそのまま受け付け

るのではなく、過剰要求でないかどうか、安価な代替品の有無をチェックできるような、発注・支給に関する二段階処理のシステム化など、物品管理の工夫を図った。

さらにコンピュータ内に蓄積された情報を容易に有効利用できるようにひとつの処理を一つのDBに対応するようにDBを設計することによって、それぞれのDBに相対的な独立性を持たせ、必要な場合はDBの結合機能を使うなど表計算ソフト Excel97 で参照しやすいように工夫した。

なおこのようなDBの設計の仕方は、システムの拡張を行う場合にもDBの拡張が容易にできることである。

最後にこのような物品管理システムの開発方法は、製造業一般に十分に適応できるものである。

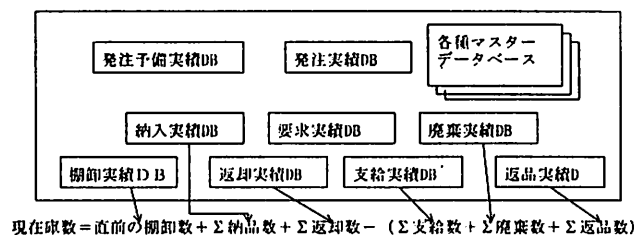


図6 在庫管理の基となるデータベース群  
Cluster of databases for inventory control system

## 参考文献

- 1) 竹田裕紀, 中辻秀和, 根津修他, 大阪府立産業技術総合研究所所報, No11, 47, (1998)
- 2) 中辻秀和, 竹田裕紀, 根津修他, 大阪府立産業技術総合研究所所報, No11, 53, (1998)