



研究所報告

No.19 (2005.9)

はじめに

研究所をご利用いただいている皆様、また常日頃お世話になっております皆様方に2005年度の「研究所報告 No.19」をお届けいたします。

当研究所は研究開発型技術支援機関として、様々な位置づけや目的に応じた研究を行っていますが、いずれの研究もその成果を積極的に情報発信していくことを心がけており、今回の研究所報告ではそれらの成果の一部を7編の技術報告と7編の技術論文としてとりまとめました。技術報告は職員が比較的長い期間にわたって蓄積してきた成果を総説に近い形で紹介させていただくもので、技術論文は研究や技術支援の成果が一区切りついたものをまとめたものです。

ところで、当研究所では業務を効率よく処理するために平成8年度に所内情報システムを導入しましたが、情報技術の進歩には目覚ましいものがあり、システムの運用にあたっていろいろな課題がわかってきました。そのため平成13年度から「職員自らの手による情報システム更新のための開発研究および構築作業」を行い、平成16年度からはこのシステムを運用することによって年々増大している業務に対応しています。今回はその成果を2編の技術報告として掲載させていただきました。職員自らのシステム開発には、(1)開発費の抑制、(2)業務内容を適確に把握しているため不要な機能を持たないシステム構築が可能、(3)業務見直しによるプログラム変更やシステムトラブル発生への迅速な対応が可能、など多くのメリットがありますが、それにも増して、今回のシステム開発で蓄積された技術を基盤として「皆様方がシステム開発をお考えの際、研究や技術指導を通じてお役に立てる態勢が当研究所に整った」ということが大きなメリットであると思っています。

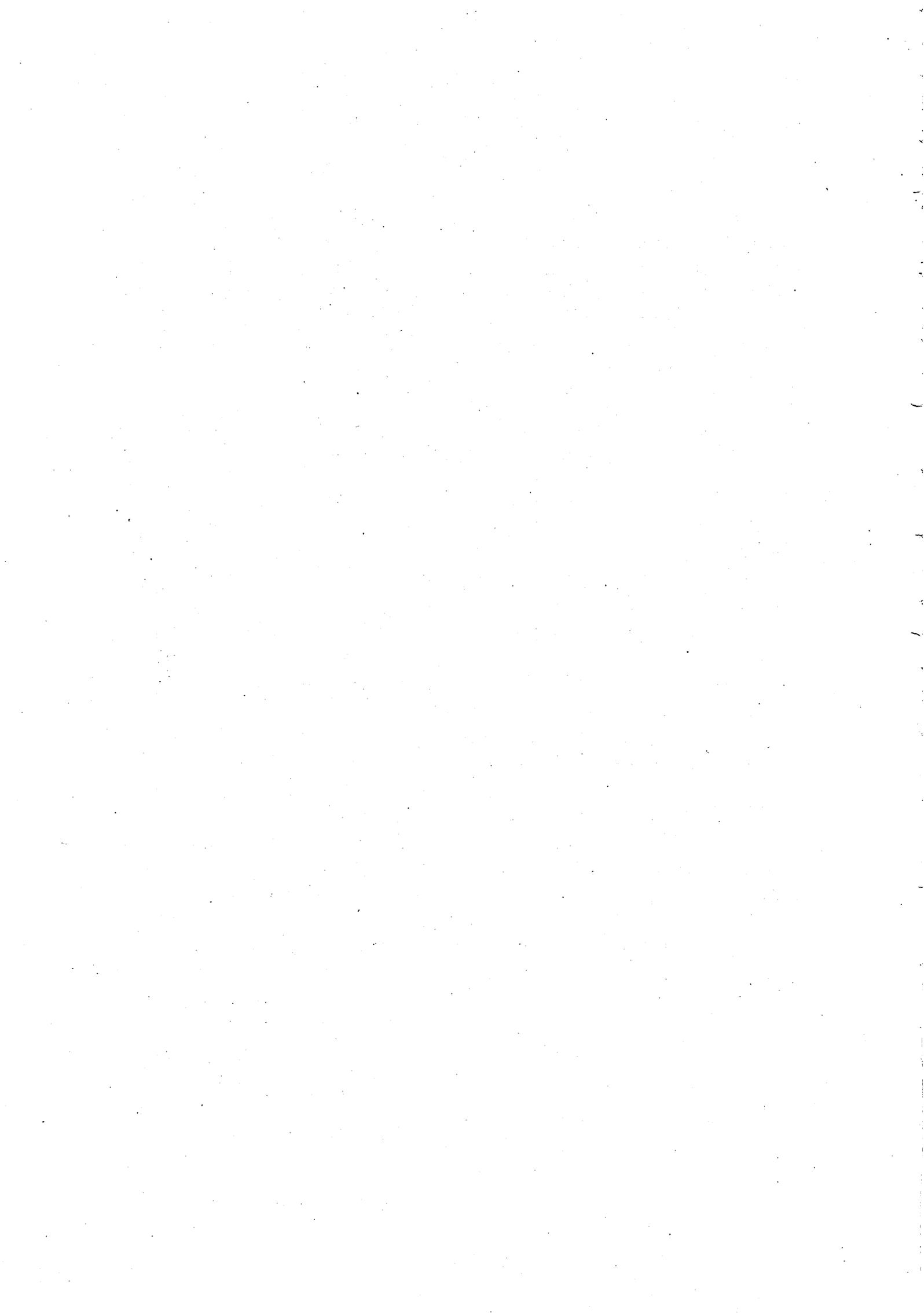
一方、この1年間に学会等で論文発表等90件、口頭発表214件および産業財産権3件の情報発信を行ってきましたが、それらについても概要を掲載いたしました。今回は産業財産権等の観点から執筆を見送ったものもありますが、情報提供が可能となった時点ですみやかにご報告申し上げたいと思っています。

この研究所報告でご紹介できる成果は紙数の関係で限られていますが、当研究所での研究業務については、大阪府立産業技術総合研究所ホームページ「<http://triosaka.jp/>」の「研究情報」に入ってくださいましたら、2001年度から2005年度までの研究テーマ名および概要をご覧くださいことができます。

今後とも一層すばらしい研究所報告にしていきたく思っていますので、忌憚のないご意見・ご助言をお寄せくださいますようお願い申し上げます。

2005年9月

大阪府立産業技術総合研究所
情報編集・活用運営委員会



目 次

技術報告及び技術論文概要	1
--------------	---

技術報告

1. javaを利用したイントラネット業務システムの開発	中西 隆	9
2. Webアプリケーションによる業務システムの構築	石島 悌	19
3. クロメート処理に代わる化成処理 ー電解還元法によるクエン酸浴からのモリブデート皮膜の形成ー	森河 務・中出卓男・北村浩司	27
4. 褥瘡予防器具類の特性	木村裕和・井上裕美子・片桐真子 山本貴則	33
5. 振動試験における非線形応答現象	中嶋隆勝・津田和城	39
6. キャピラリー電気泳動分析法の環境分析への応用	中島陽一	45
7. 高温廃熱回収器の開発	井本泰造・東 忠宏・宮内修平 入江年優	49

技術論文

1. 放電加工によるチタン材の表面改質	塚原秀和・南 久・増井清徳 曾根 匠	57
2. 球状黒鉛鋳鉄の耐食性改善に及ぼすSn, Sb, In, Ag添加とSnおよびCuの複合添加の影響	橘堂 忠・武村 守・佐藤幸弘	63
3. 溶融積層式ラピッドプロトタイプング法で作製したポリカーボネート樹脂製造形物の機械的性質	吉川忠作・菊池武士・奥村俊彦	69
4. 20L小型チャンバー法による革から放散される揮発性有機化合物の分析	喜多幸司	75
5. 中小企業情報化支援ポータルサイトの開発	新田 仁・竹田裕紀・松下 隆 越村惣次郎	81
6. RFマグネトロンスパッタ法を用いたZn ₂ SnO ₄ 透明導電性酸化物薄膜の作製	佐藤和郎・寛 芳治・村上修一 岡本昭夫・森脇耕介	87
7. オーステナイト系ステンレス鋼SUS304の低温プラズマ窒化と浸炭による複合処理	山内尚彦・上田順弘・岡本 明 辻川正人	91

他誌掲載論文等概要

1. 生ゴミ高速減容化システム 資源・エネルギー・環境部会	宮内修平・井本泰造・岩崎和弥 竹田昌弘	99
2. 大阪府立産業技術総合研究所 ー企業と大学の掛け橋ー	森田 均	99
3. 大阪府立産業技術総合研究所	森田 均	99
4. 大阪府立産業技術総合研究所における産学官連携体制	森田 均	100
5. 金型用亜鉛合金と複雑形状穴の高エネルギー放電加工	南 久・増井清徳	100
6. RPメッシュ電極による高エネルギー放電加工	南 久・増井清徳	100
7. 亜鉛合金を電極材として用いる新しい微細放電加工	南 久・増井清徳	100
8. 高出力レーザービーム整形のためのマルチレベル銅CGHの製作	萩野秀樹・朴 忠植・横井昌幸 加藤暢宏・三保真理・菊田久雄 岩田耕一	101

9. 銅のマルチレベルCGHを用いた炭酸ガスレーザのビーム整形	萩野秀樹・朴 忠植・加藤暢宏 菊田久雄・岩田耕一	101
10. Thermo-Chemical Wear Mechanism of Diamond Tool in Machining of Ferrous Metals	島田尚一・田中宏明・樋口誠宏 山口智美・本田索郎・小島一志	101
11. 熱溶解積層式ラビッドプロトタイプニングにより作製したPC（ポリカーボネート）造形物の機械的性質 —実製品の機械的性質予測への活用—	菊池武士・吉川忠作・奥村俊彦	102
12. ステンレス球状炭化物材料の製造技術の開発	西内滋典・橘堂 忠・松元秀人	102
13. 複合材料の熱弾性損傷解析 熱弾性/AEハイブリッド損傷解析	上野谷敏之	102
14. AE Application to Strength/Durability Assessment of a New Temporary Woody-Stool	上野谷敏之	103
15. 熱弾性解析を用いた平織炭素繊維布強化複合材料の疲労損傷評価	上野谷敏之・藤井 透・大窪和也 西川康博	103
16. コイルばねの破損事故とその原因検討	水越朋之	103
17. ねじ締結の安全を守る『ねじ締結管理』	角谷秀夫	104
18. The Effects of Air Pollutuin and Climatic Factors on Atomospheric Corrosion of Marble under Field Exposure	Tran Thi NgocLan・西村六郎・辻野善雄 佐藤幸弘・Nguyen Thi Phuong Thoa 横井昌幸・前田泰昭	104
19. イオン交換膜と不溶性陽極を用いるめっきプロセス	横井昌幸	104
20. 添加剤の役割 光沢・レベリングから表面形状制御へ	横井昌幸	105
21. クロムめっきの科学	森河 務	105
22. Friction and Wear of DLC Films on Magnesium Alloy	山内尚彦・出水 敬・上田順弘 N.K.Cuong・曾根 匠・広瀬幸雄	105
23. Behavior of Carbon in Low Temperature Plasma Nitriding Layer of Austenitic Stainless Steel	辻川正人・山内尚彦・上田順弘 曾根 匠・広瀬幸雄	106
24. 亜リン酸を含むニッケル・タングステン・クエン酸浴からの光沢Ni-W-P合金めっきの耐食性	中出卓男・横井昌幸・森河 務 太田清久	106
25. 燃焼合成法を利用したNi-Al系金属間化合物コーティング皮膜の作製における処理条件の検討	岡本 明・上田順弘・出水 敬 曾根 匠・池永 明・広瀬幸雄	106
26. 燃焼合成と熱拡散処理による球状黒鉛鋳鉄へのNi-Al系金属間化合物皮膜の作製	岡本 明・上田順弘・出水 敬 曾根 匠・池永 明・広瀬幸雄	107
27. 金属系高温超伝導物質MgB ₂ のエレクトロニクス応用 —トンネル接合素子と熱緩和型パルス応答素子への展開に向けて—	石田武和・王 鎮・四谷 任 町田昌彦	107
28. 携帯情報端末や携帯電話における多言語利用	石島 梯	107
29. 中小企業情報化支援ポータルサイト	新田 仁	108
30. 電気機器の簡易な高度化 —PICの応用—	北川貴弘	108
31. 段ボールの有効利用	高田利夫	108
32. カーペットの品質規格 カーペットのリサイクル	木村裕和	109
33. 人体の静電気帯電とその対策	木村裕和	109
34. 繊維の静電気測定	木村裕和	109
35. 製品衝撃強さの新しい評価手法の提案	中嶋隆勝	110
36. 振動試験における技術的問題点	中嶋隆勝・津田和城	110
37. 輸送包装関連の衝撃・振動試験方法に関する問題提起と対策	中嶋隆勝	110
38. レーザ誘起蛍光の織物品質計測への適用に関する基礎的検討	山本貴則・石澤広明・三木誉史 金井博幸・西松豊典・松本陽一 鳥羽栄治	110

39. 人の印象を考慮した音環境評価 駅空間におけるケース・スタディ	片桐真子	111
40. 輸送状態対応型の新振動試験システム	津田和城・中嶋隆勝	111
41. がたを有する被包装物の振動に関する数値的検討	津田和城・中嶋隆勝	111
42. がたを有する被包装物の振動に関する理論的検討	津田和城・中嶋隆勝	112
43. Epitaxial Growth of CuScO ₂ Thin Films on Sapphire a-Plane Substrates by Pulsed Laser Deposition	笥 芳治・佐藤和郎・四谷 任	112
44. 超音波マイクロアレイセンサの作製と評価に関する研究	田中恒久	112
45. 超音波マイクロアレイセンサ用加算機能付きBBDの開発	田中恒久・莫 要武・土谷 明 井上幸二・有田 滋・鈴木義彦 山下 馨・奥山雅則	113
46. Influence of Oxygen Flow Ratio on Properties of Zn ₂ SnO ₄ Thin Films Deposited by RF Magnetron Sputtering	佐藤和郎・笥 芳治・岡本昭夫 村上修一・浦谷文博・四谷 任	113
47. Preparation of PbSc _{0.5} Ta _{0.5} O ₃ Ferroelectric Thin Films for Infrared Detection by Pulsed Laser Deposition	村上修一・Daniel Popovici・佐藤和郎 松元光輝・野田 実・奥山雅則	113
48. The Effect of the Annealing Process on Dielectric Properties of Ba(Ti, Zr)O ₃ Thin Films Deposited by Sputtering	宇野真由美・村上修一・笥 芳治	114
49. ブラシ状多層カーボンナノチューブの短時間成長	末金 皇・中山喜萬	114
50. Sensitivity of Ultrasonic Sensor Structures Having Multilayer Diaphragm Structure	李 昇穆・田中恒久・井上幸二 山下 馨・奥山雅則	114
51. Stress Influences on the Ultrasonic Transducers	李 昇穆・田中恒久・井上幸二 Jong-Min Kim・Young-Eui Shin・奥山雅則	115
52. A New Thermal Isolation Structure by a Surface Bulk Micromachining for Dielectric Bolometer Mode IR Sensor	松元光輝・村上修一・Daniel Popovici 野田 実・奥山雅則	115
53. Effect of Morphology on Field Emission Properties of Carbon Nanocoils and Carbon Nanotubes	潘 路軍・小西保元・田中博由 末金 皇・野坂俊紀・中山喜萬	116
54. ナノコンポジットを用いた超撥水性表面	木本正樹・西田英夫・有本邦夫 池田能幸	116
55. ヒドロキシプロピルセルロース溶液中におけるシリカ微粒子の合成(2) -微粒子のキャラクタリゼーション-	木本正樹・日置亜也子・橋本英樹	116
56. ナノポリイミド微粒子による精密コーティング技術の開発	浅尾勝哉・山元和彦・吉岡弥生 舘 秀樹・服田正雄・山崎勝義	117
57. Development of PPy Films Doped with Thiol-SAM-Cu Particles for NH ₃ Gas Sensing	島内寿徳・森田誠一・Ho-Sup Jung 櫻井芳昭・鈴木義彦・久保井亮一	117
58. 紫外光分解を用いたポリシランフィルムの新しい応用展開	櫻井芳昭・長山智男・横山正明	118
59. 微小光学素子作製用電子線レジストの開発	櫻井芳昭・佐藤和郎・福田宏輝 四谷 任	118
60. アルミナ-ジルコニア系ナノ複合材料	久米秀樹	118
61. Conformational Disorder in the Brill Transition of Uniaxially-Oriented Nylon 10/10 Sample Investigated Through the Temperature-Dependent Measurement of X-Ray Fiber Diagram	田代孝二・吉岡弥生	118
62. 光触媒能を持つ針状微粒子TiO ₂ の調製	日置亜也子・木本正樹・鈴木義彦	119
63. Effect of the Mold Material and Powder Particle on the Precision of BIP Method	呉 長桓・垣辻 篤	119
64. 抗菌加工繊維製品中のヒノキチオール分析法と光分解による抗菌効果の増強	中島晴信・宮野直子・高塚 正 荒川泰昭	119

65. Removal of Heavy Metals in Aqueous Solution by Adsorption onto Oyster Shell	勝又英之・金子 聡・鈴木 透 太田清久・呼子嘉博	120
66. Sonochemical Degradation of Azo Dyes in Aqueous Solution: a New Heterogeneous Kinetics Model Taking into Account the Local Concentration of OH Radicals And Azo Dyes	興津健二・岩崎和弥・呼子嘉博 板東 博・西村六郎・前田泰昭	120
67. シックハウス原因物質の測定	小河 宏	121
68. Enzymatic Hydrolysis of Gelatin Layers on Used Lith Film Using Thermostable Alkaline Protease for Recovery of Silver and PET Film	増井昭彦・安田昌弘・藤原信明 石川治男	121
69. Purification and Characterization of a Protease from <i>Pseudomonas aeruginosa</i> Grown in Cutting Oil	Ivanka Karadzic・増井昭彦・藤原信明	121
70. 20L小型チャンバー法による革から放散されるVOCの分析	喜多幸司	122
71. 革中物質・汚れによる品質変化（革製品の臭気発生） 革の試験法（機器分析法）	喜多幸司	122
72. オカラを用いた高性能染料吸着材 -吸着特性と吸着機構の解明-	西川章江・増井昭彦・呼子嘉博 藤原信明	122
73. Effects of Nitrogen Incorporation on Structure of a-C:H Films Deposited on Polycarbonate by Plasma CVD	N.K. Cuong・田原 充・山内尚彦 曾根 匠	123
74. 各種遮水シートと保護マットとの一面せん断試験の考察	赤井智幸・松本 哲・石田正利 横山美憲・渡部直人・松下正樹 川原在博・近藤誠二・深沢 健 小竹 望・太田信之・嘉門雅史	123
75. Interface Shear Strength of Composite Landfill Liner	嘉門雅史・Faisal HjAli・勝見 武 赤井智幸・乾 徹 Mariappan Saravanan	123
76. Full-scale Test for Triple Liner System(TLS) as the Vertical Barrier	佐藤 毅・前田 敏・深沢 健 濱本好弘・井口 実・野村忠明 塩田憲司・石田正利・渡部直人 山村浩介・赤井智幸・松本 哲 嘉門雅史	124
77. 土木建設分野における繊維の利用〔上〕 ジオシンセティックスの代表的な用途	赤井智幸	124
78. 土木建設分野における繊維の利用〔中〕 ジオシンセティックスの要求機能とその評価方法	赤井智幸	125
79. 土木建設分野における繊維の利用〔下〕 ジオシンセティックスの環境分野への適用	赤井智幸	125
80. Improvement of Toughness of Cement Treated Clay for Barrier System by Inclusion of Fibrous Materials	小竹 望・平田昌史・赤井智幸 山本正人・石川雅英・嘉門雅史	125
81. Interface Performance of Landfill Liners	嘉門雅史・Faisal Hj Ali・勝見 武 赤井智幸・乾 徹・松本 哲 Mariappan Saravanan	126
82. The Damage Resistance of Triple Liner System Against the Local Pressure on the Uneven Ground Surface in the Sea Area Landfill Site	佐藤 毅・赤井智幸・嘉門雅史	126
83. 天然皮革と人工皮革の相異について	佐藤恭司	126
84. 革の特性データ集（熱特性、水分特性）	佐藤恭司	127
85. 革の特性データ集（光学特性） 革品質基準値データ集	奥村 章	127
86. 化学分析と試験	奥村 章・稲次俊敬・道志 智	127

87. Polymorphism, Photoluminescence, and Electroluminescence of Diaminodicyanopyrazine	汐崎久芳・井上陽太郎・櫻井芳昭	127
88. クリーム紹介 紳士靴の踵部分の革から白い粉末が出てきた。	稲次俊敬	128
89. 革製品の品質への対応の仕方と苦情事例データ集	稲次俊敬	128
90. 種々の仕上げ処理をした革の揮発性有機化合物 (VOC) 分析	道志 智・佐藤恭司・角田由美子	128

口頭発表概要

1. 超精密加工のための環境一定制御チャンバーの開発	○山口勝己・足立和俊・大川裕蔵 小栗泰造・他	133
2. 次世代超精密加工のための環境補償技術	○山口勝己	133
3. レーザ測長誤差低減のための環境補正装置の開発と超精密加工機への適用	○足立和俊・山口勝己・本田索郎 他	133
4. 溶融積層式RP装置により作製したPC造形物の機械的性質についての研究 (第3報) ーRP造形品と射出成形品におけるクリープ特性の比較ー	吉川忠作・菊池武士・○他	133
5. 熱溶解積層式ラピッドプロトタイピングにより作製したPC (ポリカーボネート) 造形物の機械的性質 ー実製品の機械的性質予測への活用ー	○吉川忠作	133
6. 亜鉛電極による高能率微細放電加工	○南 久・増井清徳	133
7. 亜鉛電極による超硬合金の微細加工	○南 久・塚原秀和・増井清徳 萩野 秀樹	133
8. 亜鉛電極による高能率微細放電加工	○南 久・塚原秀和・萩野秀樹 増井清徳	134
9. 亜鉛電極を用いたマイクロ放電加	○南 久・増井清徳	134
10. マイクロ放電加工およびその応用	○南 久・増井清徳	134
11. 亜鉛電極による超硬合金の微細放電加工	○南 久・増井清徳・塚原秀和 萩野秀樹	134
12. PP/HDPE/タルクコンパウンドのコンパウンド順序と機械的特性 (第2報) ータルクの表面処理の影響ー	○奥村俊彦・他	134
13. 高出力炭酸ガスレーザービームシェイピングのための曲面上マルチレベルCGHの開発 ー整形したビームによる鉄鋼材料の溶融特性ー	○萩野秀樹・朴 忠植・他	134
14. 回折光学素子用凹凸部材の製造方法	○萩野秀樹・朴 忠植・他	134
15. 回折光学素子用凹凸部材の製造方法	○萩野秀樹・朴 忠植・他	134
16. 計算機ホログラムを用いた整形ビームによるレーザー表面処理 ービーム整形による溶融形状の変化ー	○萩野秀樹・朴 忠植・他	135
17. 回折型光学素子を用いた高出力レーザーの強度分布整形	○萩野秀樹・朴 忠植・他	135
18. 回折型光学素子を用いた高出力レーザーの強度分布整形	○萩野秀樹・朴 忠植・他	135
19. 回折光学素子用凹凸部材の製造方法	○萩野秀樹・朴 忠植	135
20. マシナブルセラミックスの微細穴加工に関する研究 ー加工条件が工具摩耗・穴面性状に及ぼす影響ー	○中塚藍子・藤原久一・大山 博	135
21. Polishing Using ER Slurry on One-Sided Patterned Electrodes	○菊池武士・他	135
22. Total Force Calculation Method for ER Effect of Liquid Crystalline Polymer on One-Sided Patterned Electrode Systems	○菊池武士・他	135
23. 樹脂材料に対する片側パターン電極を用いたER流体援用加工の可能性	○菊池武士・他	135

24. ステンレス球状炭化物材料の製造技術の開発	橘堂 忠・○他	136
25. 球状バナジウム炭化物白鑄鉄の焼鈍に伴う組織変化	○橘堂 忠・武村 守・松室光昭	136
26. Evaluation of Erosive Wear Properties of High V-Cr-Ni Cast Iron with Spheroidal Carbides	橘堂 忠・○他	136
27. 新しい構造からなる高齢者用介助腰掛の製品安全性評価	○上野谷敏之・他	136
28. 平織り炭素繊維積層材おける表層下熱弾性効果の影響	○上野谷敏之・他	136
29. AE Application to Strength/Durability Assessment of a New Temporary Woody-Stool	○上野谷敏之	136
30. 木質製品の開発支援とAEの適用	○上野谷敏之	137
31. 金属粉末・アルミニウム溶湯反応を利用した金属間化合物粒子分散アルミニウム合金の作製	○松室光昭	137
32. 溶湯攪拌法によるその場生成金属間化合物粒子のアルミニウム合金への複合化	○松室光昭・橘堂 忠	137
33. EU高窒素鋼共通試料のESCAによる耐食性の評価	森河 務・○他	137
34. 硫酸銅めっきにおける添加剤の分析	森河 務・横井昌幸・中出卓男 ○他	137
35. UBMスパッタ法により形成したDLC膜のトライボロジー特性に及ぼす雰囲気環境の影響 (第2報)	○三浦健一・出水 敬・石神逸男	137
36. 金属錯体反応を利用した放電加工	○塚原秀和・南 久・増井清徳 曾根 匠	137
37. 金属錯体反応を利用した放電加工	○塚原秀和・南 久・増井清徳 曾根 匠・萩野秀樹・他	137
38. 金属錯体反応の微細放電加工への適用	塚原秀和・南 久・増井清徳 ○他	138
39. チタンとアルミの混合粉末によるプラズマ溶射皮膜の密着力に関する検討	足立振一郎	138
40. 燃焼合成を利用したNi-Al系金属間化合物被覆層の緻密化と均質化に対するSi添加の影響	○岡本 明・他	138
41. Ni-Al Intermetallic Compound Coating on 304 Austenitic Stainless Steel Using Combustion Synthesis	○岡本 明・上田順弘・出水 敬 曾根 匠・他	138
42. AIP法により形成したCrN皮膜の微細構造とドロップレットの形態に対する基板バイアス電圧の影響	○柴川元雄・三浦健一・石神逸男 横井昌幸	138
43. 電子ビーム描画装置を用いた微細加工技術の紹介	○四谷 任・森脇耕介・佐藤和郎 福田宏輝・楠 文経	139
44. 電子ビーム描画装置を用いたMgB ₂ 薄膜のナノファブリケーション	○四谷 任・森脇耕介・佐藤和郎 福田宏輝・楠 文経	139
45. 食の安全を確保する大阪版トレーサビリティシステム	○竹田裕紀・新田 仁・石島 悌 他	139
46. 食の安全を確保する大阪版トレーサビリティ支援システム	○竹田裕紀・新田 仁・石島 悌 他	139
47. 高次脳機能障害者の徘徊看視システムの開発	○朴 忠植・石島 悌・他	139
48. 高次脳機能障害者の徘徊看視システムの開発	○朴 忠植・石島 悌・他	139
49. 高次脳機能障害者の徘徊看視システムの開発	○朴 忠植・石島 悌・谷口正志 他	139
50. 高次脳機能障害者の徘徊看視システムの開発	○朴 忠植・谷口正志・石島 悌 他	139

51. 高次脳機能障害者の徘徊看視システムの開発	○朴 忠植・石島 悌・他	139
52. オープンソースを活用した公設試験研究機関向け業務システム	○石島 悌	139
53. オープンソースを活用した公設試験研究機関向け業務システム	○石島 悌	139
54. 携帯情報端末や携帯電話における多言語利用	○石島 悌・他	140
55. 中小企業情報化支援ポータルサイトの開発	○新田 仁・竹田裕紀・他	140
56. 中小企業情報化支援ポータルサイトの開発	○新田 仁・竹田裕紀・他	140
57. 点字腕時計	○北川貴弘・谷口正志・他	140
58. 点字時計の開発	○北川貴弘・谷口正志・他	140
59. 点字腕時計の開発	○北川貴弘・谷口正志・他	140
60. 省スペース・低消費電力の点字表示装置	○北川貴弘・谷口正志	140
61. 段ボールの緩衝特性に関する一考察	○高田利夫・寺岸義春・岡市 敏 田中健一郎	140
62. 段ボール古紙の有効利用に関する研究（吸音材への適用）	○高田利夫・片桐真子・広畑 健 寺岸義春・岡市 敏・君田隆男	140
63. 人体帯電防止用靴底裏面貼付シートの考案とその実用化	○木村裕和	141
64. 心臓ペースメーカ電磁干渉防護服の開発	○松本元一・田中健一郎・他	141
65. IH式電気炊飯器からの漏洩磁界によるペースメーカへの電磁干渉防止法に関する研究	○松本元一・田中健一郎・他	141
66. ひとにやさしい音環境を考える ー人間工学から考察した音の評価ー	○片桐真子	141
67. 電気を用いない集音型助聴具	○君田隆男	141
68. JIS改正に対応した音響解析による共振現象把握システムの考案	○君田隆男・中嶋隆勝・津田靖子	141
69. 輸送状態対応型の新振動試験システム	○津田和城・中嶋隆勝	142
70. Quasi-Theoretical Investigation on Vibration of Package with Gap	○津田和城・中嶋隆勝・他	142
71. 温度補償素子集積型特殊環境対応圧力センサ	○日下忠興	142
72. イオン・プラズマを利用した薄膜形成による表面高機能化	○岡本昭夫	142
73. サーミスタ材料としての複合窒化膜の薄膜化技術	○岡本昭夫	142
74. サーミスタ材料としての複合窒化物の薄膜化技術	○岡本昭夫	142
75. プラズマアシスト成膜法によるフッ素樹脂複合薄膜の作製	○岡本昭夫・松永 崇	142
76. プラズマアシスト成膜法によるフッ素樹脂複合薄膜の作製	○岡本昭夫・松永 崇	142
77. MEMS技術を用いたセンサ作製	○井上幸二	142
78. 高性能マイクロデバイスを作製可能なMEMS・微細加工技術	○井上幸二	143
79. サファイヤ面基板上に成長したCuScO ₂ (0001)エピタキシャル薄膜の面内配向関係	○笥 芳治・佐藤和郎・四谷 任	143
80. CuScO ₂ 薄膜の配向性に及ぼすアニール処理効果	○笥 芳治・佐藤和郎	143
81. ICP-RIEを用いた超音波マイクロアレイセンサの作製	○田中恒久・李 昇穆・井上幸二 他	143
82. 超音波マイクロアレイセンサの開発と超音波計測例	○田中恒久	143
83. 超音波センサ	○田中恒久	143
84. フッ素系樹脂を用いた超音波マイクロセンサ作製プロセス	○田中恒久・李 昇穆・井上幸二 他	144
85. RFマグネトロンスパッタ法によるZn ₂ SnO ₂ の成膜	○佐藤和郎・笥 芳治・村上修一 岡本昭夫・森脇耕介	144
86. アモルファス相および結晶相におけるpoly(9, 9-dioctylfluorene)の励起状態構造	村上修一・○他	144

87. レーザアブレーション法により作製したBa(Ti, Zr)O ₃ 薄膜の電気特性の改善	○村上修一・松元光輝・佐藤和郎 宇野真由美・他	144
88. Development of Infrared Sensor of Dielectric Bolometer Mode	○村上修一・井上幸二・他	144
89. 誘電ボロメータ型赤外線センサ	○村上修一	144
90. 誘電ボロメータ型赤外線センサの高性能化を実現する強誘電体薄膜の開発	○村上修一・佐藤和郎・他	144
91. レーザアブレーション法によるBa(Ti, Zr)O ₃ 薄膜の作製とその評価(II)	○村上修一・宇野真由美・佐藤和郎 他	145
92. MOD溶液塗布時N ₂ 雰囲気誘電ボロメータ用BTS強誘電体膜の電気的特性に及ぼす影響	村上修一・○他	145
93. プラズマCVD法によるダイヤモンドライクカーボン薄膜の作製とそのガスバリア性能	○松永 崇・岡本昭夫	145
94. PIG式プラズマCVD法を用いたダイヤモンドライクカーボン薄膜の作製	○松永 崇・岡本昭夫	145
95. PIG式プラズマCVD法を用いて作製した非晶質炭素薄膜のガスバリア特性	○松永 崇・岡本昭夫	145
96. スパッタリング法によるBa(Ti, Zr)O ₃ 薄膜の作製とその評価	○宇野真由美・村上修一・笈 芳治	145
97. Effect of Annealing Process on Dielectric Properties of Ba(Ti, Zr)O ₃ Thin Films Deposited by Sputtering	○宇野真由美・村上修一・笈 芳治	145
98. スパッタリング法により作製したBa(Ti _{1-x} , Zr _x)O ₃ 薄膜の熱処理過程による誘電特性の向上	○宇野真由美・村上修一・笈 芳治	146
99. 表面バルクマイクロマシン熱絶縁構造を用いた誘電ボロメータ型赤外線センサ	○松元光輝・村上修一・他	146
100. 表面バルクマイクロマシン構造Ba(Ti, Sn)O ₃ 薄膜誘電ボロメータ型赤外線センサの作製	○松元光輝・村上修一・宇野真由美 他	146
101. コアのある負誘電体ギャップ導波路における2次元光波の伝搬特性	○楠 文経・四谷 任・他	146
102. プラズマスパッタ法によるPt-C複合薄膜の作製	○松本茂生・岡本昭夫・西村 崇 中島陽一・野坂俊紀	146
103. Analysis of Field Emission Properties of Carbon Nanocoils for Imaging Materials	野坂俊紀・○他	146
104. マクロアゾ重合開始剤を用いたコアシェル微粒子の合成およびシリカとの複合化	○木本正樹・日置亜也子	147
105. ゴム変成エポキシ系接着剤の破壊じん性—析出型と微粒子分散型の比較—	木本正樹・○他	147
106. アクリルシリコーン/シリカ・ナノハイブリッドによる超撥水性表面の調製と評価	○木本正樹・日置亜也子・他	147
107. ナノポリイミド微粒子の合成と応用	○浅尾勝哉・山元和彦・吉岡弥生 舘 秀樹	147
108. シリコン炭化反応によるSiC薄膜の合成	垣辻 篤・○他	147
109. SiCナノファイバーの気相成長における触媒効果	垣辻 篤・○他	147
110. マイクロオブテイクス素子作製用電子線レジスト	○櫻井芳昭・佐藤和郎・福田宏輝 四谷 任・井上陽太郎	148
111. UV照射ポリシランとイオン性ポリマーを用いたマイクロレンズアレイ作製	櫻井芳昭・○他	148
112. 光学素子作製用ポリシロキサン型電子線レジストの開発	○櫻井芳昭・佐藤和郎・福田宏輝 四谷 任	148

113. 誘電泳動による金属単層カーボンナノチューブの除去	櫻井芳昭・○他	148
114. 化学気相反応によるSiC多孔質体の気孔制御	久米秀樹・垣辻 篤・○他	148
115. ナイロンのBrill転移における構造変化 ー振動スペクトルに基づく検討ー	○吉岡弥生・他	148
116. 沈澱重合による芳香族ポリアミド微粒子の調製	○吉岡弥生・浅尾勝哉・山元和彦 館 秀樹	148
117. Structural and Mechanical Property Changes in the Brill Transition of Aliphatic Nylons	吉岡弥生・○他	149
118. Evaluation of ZrO ₂ -Dispersed Al ₂ O ₃ Ceramics Prepared by Coprecipitation Techniqu	○西川義人・久米秀樹・稲村 偉 他	149
119. 均一沈殿法により作製したアルミナージルコニア複合粉末の 評価について	○西川義人・久米秀樹・稲村 偉	149
120. アルコキシド法を用いた球状および針状酸化チタン微粒子の調製	○日置亜也子・櫻井芳昭・汐崎久芳 木本正樹	149
121. グルコース保護金ナノ粒子の合成と物性評価	日置亜也子・汐崎久芳・○他	149
122. アルコキシド法による球状および針状TiO ₂ 微粒子の調製	○日置亜也子・櫻井芳昭・汐崎久芳 木本正樹	150
123. 針状酸化チタン微粒子の調製とその光触媒能評価について	○日置亜也子	150
124. ヒドロキシプロピルセルロース複合化TiO ₂ 微粒子の合成	○日置亜也子・木本正樹	150
125. 多孔性ポリイミド微粒子の合成と薄膜への応用	○館 秀樹・吉岡 弥生・浅尾勝哉	150
126. 多孔性ポリイミド微粒子の調製とポリイミド膜の作製	○館 秀樹・吉岡 弥生・浅尾勝哉	150
127. 多孔性ポリイミドナノ微粒子を用いた低誘電率層間絶縁膜の開発	○館 秀樹・吉岡 弥生	150
128. 多孔性ポリイミド微粒子の合成と多孔膜への応用	○館 秀樹・吉岡 弥生・浅尾勝哉 山元和彦	151
129. 脂環式化合物を側鎖に有するポリシロキサンの電子線特性	○井上陽太郎	151
130. 半固形モールド法(BIP法)の寸法精度向上に及ぼす圧力媒体及び 粉末の影響	○呉 長桓・垣辻 篤	151
131. BIP法による複雑形状部品の成形に及ぼす各種パラメータの 影響-II	○呉 長桓・垣辻 篤	151
132. オカラを用いたCBB染料の吸着 ー吸着特性と吸着部位ー	○藤原信明・増井昭彦・呼子嘉博 西川章江・井川 聡	151
133. インテリジェントな薬剤徐放システム (DDS) による微生物制御： <i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853が分泌する proteaseの精製と性質	○藤原信明・増井昭彦・他	151
134. Photodegradation of Carbofuran in Aqueous Solution by Fe(III) Aquacplexes	呼子嘉博・○他	152
135. Degradation of Linuron in Water by the Photo-Fenton Reaction	呼子嘉博・○他	152
136. 垂直面・薄層緑化システムにおけるリサイクル基材と植生の 最適化調査研究	○井本泰造・他	152
137. 垂直面・薄層緑化システムにおけるリサイクル基材と植生の最適化	井本泰造・○他	152
138. 地球環境に優しい循環型のおがくず脱硝装置	小河 宏・○他	152
139. キャピラリー電気泳動法による金属微粒子生成挙動の検討	○中島陽一・他	152
140. Determination of Volatile Organic Compounds Emitted from Leathers by 20L Small Chamber Method	○喜多幸司	153
141. 20L小型チャンバー法による革から放散されるVOCの分析	○喜多幸司	153

142. オカラを用いたCBB染料の吸着 -吸着機構の解明-	○井川 聡・藤原信明・増井昭彦 呼子嘉博・他	153
143. 水溶性切削油の腐敗制御に関する一考察	○井川 聡・藤原信明・増井昭彦	153
144. 金属イオンを用いた過酸化水素漂白	○田原 充・根津 修・他	153
145. 酸性、中性域での過酸化水素漂白	○田原 充	153
146. 2価の鉄イオンで前処理した綿布の過酸化水素漂白における pHの影響	田原 充・○他	154
147. 酸化剤/酵素処理による羊毛の防縮加工	田原 充・○他	154
148. 酸化剤/酵素処理した羊毛の染色性	田原 充・○他	154
149. 一体型複合遮水シート工法を用いた海面処分場遮水工の解析に よる性能評価	赤井智幸・○他	154
150. 一体型複合遮水シートの力学特性と摩擦特性	赤井智幸・松本 哲・○他	154
151. 一体型複合遮水シートの応力解析と引張り破断限界の推定	赤井智幸・松本 哲・○他	154
152. 海面処分場不織布保護マットの載荷試験による保護性能評価	○赤井智幸・松本 哲・他	154
153. 一体型複合遮水シート工法の開発	○赤井智幸	155
154. 各種遮水シートと保護マットとの一面せん断試験の考察	○赤井智幸・松本 哲・他	155
155. 衣料用繊維から産業繊維資材, 新繊維素材へ	○赤井智幸	155
156. 毛のSEM観察用標本の新しい作製手法	奥村 章	155
157. 市販各種手袋革の染色堅ろう性	○稲次俊敬・藤田恵美・他	155

平成16年度研究発表会

158. 産技研に見るものづくり・IT・試作開発を支える基盤技術	○大山 博	156
159. プラスチック製品関連分野におけるCAD/CAE/RPの高度利用技術	○吉川忠作	156
160. 亜鉛電極および放電/切削ハイブリッド加工システムによる高能率 微細加工	○南 久・塚原 秀和・萩野秀樹 増井清徳	156
161. 金属粉末RP造形技術の板材プレス加工用金型への適用	○白川信彦・木下俊行・宮田良雄	156
162. 回折型ビーム整形素子を用いたレーザ表面処理	○萩野秀樹・朴 忠植・他	156
163. ダイヤモンド切削加工の適用材料拡大について	○本田素郎・山口勝己・他	156
164. 熱溶解積層式RP造形装置により作製したポリカーボネート製 造形物の機械的特性	○菊池武士・吉川忠作	156
165. 高濃度COキャリアガス雰囲気中におけるガス浸炭の炭素濃度分布 数値解析	○水越朋之・星野英光・横山雄二郎 平田智丈	156
166. Si添加によるFe-Sn合金の相分離挙動	○武村 守・橋堂 忠	157
167. Ni粉末/Al溶湯反応によるin situ生成Al ₃ Ni粒子強化複合材料の 機械的性質	○松室光昭	157
168. 不溶性陽極を用いる硫酸銅めっきプロセスの開発	○森河 務・中出卓男・左藤眞市 横井昌幸・西村 崇	157
169. イオン交換膜と不溶性陽極を用いるニッケルめっきプロセス	○森河 務・中出卓男・左藤眞市 横井昌幸・西村 崇	157
170. 環境に優しい無廃浴型めっきプロセスを目指して -イオン交換膜を用いるめっきプロセス-	○森河 務・中出卓男・左藤眞市 横井昌幸・西村 崇	157
171. UBMスパッタ法により形成したDLC膜の摩擦・摩耗特性に 及ぼす雰囲気環境の影響	○三浦健一・出水 敬・石神逸男	157
172. アルミナ溶射皮膜の密着力に関する研究	○足立振一郎	157
173. 燃焼合成法によるNi-Al系金属間化合物皮膜の作製とプロセス制御	○岡本 明	158

174. 科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業「超伝導ナノファブリケーションによる新奇物性と応用」事業の成果	○四谷 任・森脇耕介・佐藤和郎 福田宏輝・楠 文経	158
175. 食の安全を確保する大阪版トレーサビリティ支援システムの開発	○竹田裕紀・新田 仁・石島 悌 他	158
176. 高次脳機能障害者の徘徊看視システムの開発	○朴 忠植・石島 悌・他	158
177. 画像処理によるデザイン分析システム	○中谷幸太郎・森脇耕介・他	158
178. 中小企業情報化支援ポータルサイトの開発	○新田 仁・竹田裕紀・他	158
179. 点字腕時計の開発	○北川貴弘	158
180. 床ずれ予防寝具類の性能評価	○木村裕和・山本貴則・片桐真子 井上裕美子	159
181. 電磁波の暴露を受けた人体モデル内における電磁界強度の測定	○田中健一郎・松本 元一・他	159
182. 電気を用いない集音型助聴器に関する基礎的研究	○君田隆男・東 忠宏・根津 修	159
183. がたを有する被包装物の振動に関する実験的検討	○津田和城・中嶋隆勝・寺岸義春 高田利夫・他	159
184. 薄膜の歪みゲージファクタ簡易測定	○日下忠興・吉竹正明	159
185. 都市エリア産学官連携促進事業（大阪/和泉エリア）の報告	○森脇耕介・佐藤和郎・福田宏輝 四谷 任	159
186. プラズマアシスト成膜法によるフッ素樹脂複合薄膜の作製	○岡本昭夫・松永 崇	159
187. 酸素アニール処理されたCuScO ₂ (0001)薄膜の電気・光学特性	○寛 芳治・佐藤和郎・四谷 任	160
188. ICP-RIEを用いた超音波センサプロセスの開発	○田中恒久・井上幸二・李 昇穆	160
189. RFマグネトロンスパッタ法により作製したZn ₂ SnO ₄ 薄膜の電気特性	○佐藤和郎・寛 芳治・岡本昭夫	160
190. 誘電ボロメータ型赤外線センサの高感度化を実現する強誘電体薄膜の開発	○村上修一・佐藤和郎・松元光輝 宇野真由美・他	160
191. レーザアブレーション法によるBa(Ti, Zr)O ₃ 強誘電体薄膜の作製	○村上修一・佐藤和郎・松元光輝 他	160
192. プラズマCVD法を用いたガスバリア性ダイヤモンドライクカーボン薄膜の作製	○松永 崇・岡本昭夫	160
193. ダイアフラム構造の超音波センサにおける構造的・熱的原因が感度に及ぼす影響	○李 昇穆・田中恒久・井上幸二	161
194. 表面バルクマイクロマシン技術による誘電ボロメータ型赤外線センサの作製	○松元光輝・村上修一・宇野真由美 他	161
195. 高分子溶液中で合成したシリカ微粒子のキャラクタリゼーション	○木本正樹	161
196. ナノポリイミド微粒子による精密コーティング技術の開発	○浅尾勝哉	161
197. ナノ・マイクロ高分子微粒子の開発と応用	○浅尾勝哉	161
198. 燃焼合成法によるTiAl金属間化合物基複合材料の作製	○垣辻 篤・他	161
199. 透過型電子顕微鏡（TEM）を用いた微細組織観察と解析	○久米秀樹・他	161
200. 均一沈殿法を利用したアルミナ-ジルコニア複合セラミックスの作製	○西川義人・久米秀樹・稲村 偉 他	162
201. 光触媒能を持つ針状酸化チタン微粒子	○日置亜也子・小河 宏	162
202. 多孔性ポリイミド微粒子および多孔性ポリイミド膜の調製	○舘 秀樹・吉岡弥生・浅尾勝哉	162
203. BIP法による複雑形状部品の成形に及ぼす各種パラメータの影響Ⅱ	○呉 長桓・垣辻 篤	162
204. 塩化ベンザルコニウム・ポリ-L-リシン・シリコナイズのガラスおよびポリプロピレン表面での菌吸着と生菌数への影響	○高塚 正	162
205. 壁面緑化システムにおけるリサイクル基材と植生の最適化	井本泰造・○他	162

206. 超音波照射場で発生するOHラジカル等の活性種の評価について	○岩崎和弥・呼子嘉博・中島陽一 喜多幸司・他	162
207. 環境規制物質の分析法について - 6価クロムを中心に-	○中島陽一・山崎 清・林 寛一	163
208. GC/MSによる革・革製品のおい分析	○喜多幸司	163
209. 丸編機におけるよこ段の発生	○亀田良兼	163
210. ポリカーボネート上に形成した窒素含有DLC膜の性質	○田原 充・山内尚彦・他	163
211. 廃棄物処分場一体型複合遮水シート工法の開発	○赤井智幸	163
212. タオル製品の機能性データベース	○宮崎克彦・馬淵伸明・宮崎逸代 玉井輝夫・赤坂長吉・坂井芳男	163
213. 綿繊維のテトラエトキシシランを用いたゾルーゲル加工	○豊田佳与・菅井実夫・他	164
214. 鉄/ポリフェノール系化合物による複合なめし技術の開発	○奥村 章	164

産業財産権

1. 炭素材料	167
2. 非接触式形状計測方法	167
3. ハニカム状セラミック吸着材	167

(○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】

java を利用したイントラネット業務システム開発

中西 隆

java言語はインターネットサーバやイントラネットサーバのプログラミング言語として主流になっている。当研究所でも、平成13年度から平成16年度にかけて開発した業務処理システムのポータル機能から研究管理、技術指導管理、掲示板等の部分についてサーバ側プログラム言語としてjava言語を使用した。ここでは、java言語の持つオブジェクト指向の考え方を活かし、さらにXML関連ライブラリやフレームワークなどオープンソースソフトウェアとして提供されるjavaクラスライブラリを活用することで、少人数でシステムを完成させることができ、プログラムも柔軟な拡張容易なものとして構築することができた。本稿では、この体験から業務システムを自主開発する利点と実行した開発プロセス、さらにWebアプリケーションとして業務システムを作成するために使用したjava関連技術とその利用方法と効果について紹介する。

Web アプリケーションによる業務システムの構築

石島 悌

オープンソースを用いた業務システムの多くは、クライアントにパソコンとブラウザソフトを使った、ウェブアプリケーションとして構築されている。サーバ側で用いる OS・データベース・ウェブサーバ・アプリケーション記述言語などには、オープンソースやフリーウェアが使われる。本報では、サーバ側ソフトウェアとして FreeBSD・PostgreSQL・Apache・PHP を活用している、産技研の機器利用・依頼試験管理システムおよび歳入歳出管理システムを題材として、業務システムの構築方法や各種ソフトウェア活用のノウハウを紹介する。

クロメート処理に代わる化成処理

－電解還元法によるクエン酸浴からのモリブデート皮膜の形成－

森河 務 中出卓男 北村浩司

21 世紀のめっき業界を取り巻く環境規制は厳しさを増している。欧州では、酸性雨により廃棄された自動車や家電製品から有害物が溶出して、土壌、地下水を汚染し、これが生態系、ひいては人体に影響を与える懸念が打ち出され、6 価クロム、鉛、カドミウム、水銀などの使用禁止が検討されている。亜鉛めっきのクロメート皮膜中には6 価クロムが含有されるため、6 価クロムを含まないクロメート代替処理が求められ、自動車・家電関係を中心に、その代替技術の導入が急ピッチに進められている。本報告では、クロメート代替処理として、当所で開

発を行った電解還元モリブデート皮膜を取り上げ、化成皮膜の生成条件、溶液の状態、析出機構、ならびに皮膜の化学状態などを紹介する。

褥瘡予防寝具類の特性

木村裕和 井上裕美子 片桐真子
山本貴則

わが国は世界一の長寿国であり、近年の少子化傾向とも相まって総人口に占める高齢者層の割合は今後とも増加し続けることが予想される。したがって、寝たきりやそれに近い状態の高齢者などに頻発する褥瘡も深刻な問題として顕在化するものと推察される。もちろん、これまでも褥瘡予防効果を謳った寝具類が多数開発され、販売されているが、褥瘡予防寝具類の使用や選択基準に関する具体的な指針は示されていない。そこで、当研究分野では褥瘡予防に対し真に必要な機能を明確にし、優れた性能を有する寝具類の提案を目的に検討を進めている。そして、これまでに代表的な褥瘡予防寝具類を対象に静的荷重を用いた実験や人体（被験者）による計測評価を行ってきた。本稿では、褥瘡ならびに褥瘡予防寝具類の現状を概説するとともに人体に加わる応力や寝床内気候について実際に被験者を用いて実験的検討を行った結果を紹介する。

振動試験における非線形応答現象

中嶋隆勝 津田和城

振動試験は、振動が原因となる製品や部品の破損事故、あるいは動作不良事故などを未然に防ぐことを目的としており、安全で安心できる社会を実現するために、あらゆる製造業で実施される必要がある重要な試験である。しかし、規格どおりの振動試験を行っても実地で破損事故が発生する事例は多く、その原因を明らかにし、正しく振動耐久性を評価する手法を開発する必要がある。本報では、まず、JIS で規定された振動試験の方法およびその問題点について説明する。次に、振動試験において誤った評価の原因となる供試品の非線形応答現象の具体例を紹介する。さらに、輸送包装貨物において代表的な非線形応答現象の一つであるガタ振動を例に挙げ、耐久性評価結果が実地で再現されないメカニズムについて数値解析結果を交えて詳細に説明する。

キャピラリー電気泳動分析法の環境分析への応用

中嶋陽一

キャピラリー電気泳動分析法は、迅速かつ簡便で、汎用性が高く、有用な手法である。このため、特に溶液中の各種イオンの分析に広く用いられている。しかし、他の手法に比べ、検出感度がやや劣るといふ欠点を有する。一般的な環境分析において、求められる感度は年々高くなっている。このため、本手法を環境分析に適用するには検出感度の向上が不可欠である。加えて、本分析法は共存物質の影響をうけやすい。この点も様々な履歴を持つ環境試料分析にお

いて問題となる。このような点を克服するため、ポリオキシメタレート生成反応を応用した高感度なキャピラリー電気泳動分析法(主に重金属の分析)を研究した。本報文では、本手法の詳細および得られた結果について述べる。

高温廃熱回収器の開発

井本泰造 東 忠宏 宮内修平
入江年優

地球温暖化要因である二酸化炭素の排出抑制には、燃焼をともなう熱設備の熱効率の向上が重要な技術課題であり、燃焼排ガス損失の低減が重要なポイントとなる。高温排ガスからの熱回収を実施し、燃焼用空気の加熱用熱源として利用すれば、燃料節減(省エネルギー化)によって排ガス量の低減が図られ、二酸化炭素の削減に大きく寄与することになる。そこで、高温排ガスから1000℃以上の高温燃焼用空気を得ることを目的として、伝熱管にアルミナセラミックス管を採用すると同時に、輻射エネルギーを最大限に利用するため、伝熱管内外に伝熱促進管を挿入した高温廃熱回収器(シェルアンドチューブ方式)の開発を行った。本報告では、試作機による試験結果、および、高温廃熱回収を行った場合の省エネルギー効果についての検討も行ったので併せて報告する。

【技術論文】

放電加工によるチタン材の表面改質

塚原秀和 南 久 増井清徳
曾根 匠

チタンは比強度が高く、耐食性に優れるなどの特性を有するため、航空機部品や化学プラント、海洋開発などの材料として、また、昨今ではレジャー用品などでも、その需要が急速に増大している。しかし、耐摩耗性や耐焼付性に乏しいため、機構部品の分野ではその需要は多いとはいえない状況にある。しかし、エネルギーや環境問題の観点などから動力機械の軽量化などが進められており、チタンの摩擦・摩耗特性が改善されれば、さらに需要の伸びが期待される。放電加工法は、絶縁液中において、電極と工作物との間で火花放電を発生させ、材料を溶解除去加工する方法である。油中で放電加工を行うと、加工液の熱分解で生成される炭素が、加工表面に侵入することが知られている。その現象を利用することにより、チタンの放電加工において TiC 層の生成を期待できる。そのため、チタン材の耐摩耗性向上を目的として、放電加工を利用した表面改質法を検討した。その結果、処理条件の最適化により、ほとんどクラックのない硬質の TiC 層が得られ、摩擦係数の低減および、耐摩耗性の向上を確認できた。

球状黒鉛鋳鉄の耐食性改善に及ぼす Sn,Sb,In,Ag 添加と
Sn および Cu の複合添加の影響

橋堂 忠 武村 守 佐藤幸弘

土中埋設下での球状黒鉛鋳鉄の耐食性改善を目的として、微量の塩を含む酢酸水溶液腐食環境下における腐食実験を行い、球状黒鉛鋳鉄の耐食性改善に錫の合金化が優れた効果が認められることを報告している。しかし、錫は球状黒鉛の球状化不良を促進する元素と知られていることから、その添加量は0.20mass%までとした。この添加量の範囲では、形状のくずれた黒鉛が全く認められなかったため、今回錫添加量を更に拡大して試料を溶製し、耐食性について検討を加えた。また耐食性改善が認められた元素(錫と銅)について、周期律表でこれらに近い新たな元素を添加して耐食性を調査した。錫(IVb族)についてはその近辺のアンチモン(Vb族)とインジウム(IIIb族)を、銅については同じ族(Ib)の元素である銀を添加した試料を溶製した。さらに錫と銅を複合添加した試料を作製し、それらの耐食性を評価した。

溶融積層式ラピッドプロトタイピング法で作製したポリカーボネート

吉川忠作 菊池武士 奥村俊彦

ラピッドプロトタイピングは、工具や金型を用いることなく、3次元 CAD のデータから試作物を自動造形することが可能である。溶融積層式(FDM)ラピッドプロトタイピング法は熱可塑性樹脂製の試作物を造形できるため、プラスチック製品の機械的性質予測への適用が試行されている。しかし、FDM 造形物は、造形原理に起因する諸特性の方向性と不均質性を有

するため、同一形状の射出成形品とは機械的性質に差異が生じる。ポリカーボネート樹脂製の FDM 造形物の機械的性質に関して、試験片形状（3種類の造形方向および3種類の厚さ）および箱形状について射出成形品と比較した結果について報告する。

20L 小型チャンバー法による革から放散される揮発性有機化合物の分析

喜多幸司

革および革製品について、皮から革を製造する工程で、鞣し剤中のホルムアルデヒドや、仕上げ剤（表面塗装）の溶剤としてトルエン、キシレンが含まれることがあり、革表面から残存する VOC が徐々に放散するという事例が報告されている。そこで、JIS A 1901（建築材料の揮発性有機化合物（VOC）、ホルムアルデヒド及び他のカルボニル化合物放散測定方法—小型チャンバー法）に基づき、市場流通革 36 種の銀面から放散される VOC の分析を行った。トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン、n-テトラデカン、総揮発性有機化合物（TVOC）の定量分析結果、試験開始後2週間換気が続けたときの TVOC 放散速度の経時変化、チャンバー法で測定した放散速度から室内空間モデルを用いて室内濃度増分値を計算した結果について述べる。

中小企業情報化支援ポータルサイトの開発

新田 仁 竹田裕紀 松下 隆
越村惣次郎

大阪府の中小企業における情報化は、パソコン導入やインターネット接続などのインフラ面では着実に進展している反面、それらの情報化投資が経営に貢献していないという問題を抱えている。これに対し著者らは、経営改善につながる情報化を支援する「中小企業情報化支援ポータルサイト」を開発した。ポータルサイトのメインコンテンツ「情報化診断システム」では、診断企業の情報化の現状を入力することによって、経営者が実現を希望する経営目的とそれを実現するために必要な情報化方策を明示し、情報化成功のために何が欠けているか、何をすべきかを提供する。また、情報化の成功例をまとめた「情報化事例」、情報化に関わる技術的な解説である「情報化Q & A」、情報化のための公的な支援をまとめた「支援施策一覧」などのサブコンテンツも整備し、中小企業の情報化を総合的に支援する。

RF マグネトロンスパッタ法を用いた Zn_2SnO_4 透明導電性酸化物薄膜の作製

佐藤和郎 笥 芳治 村上修一
岡本昭夫 森脇耕介

最近、液晶ディスプレイや太陽電池など透明導電膜を必要とする機器の需要が急速に伸びている。現在、透明導電膜材料としては、主にインジウムとスズの酸化物である ITO が使用されている。ITO は透明導電膜材料として、大変優れた性質を有する。しかしながら、希少で高価なインジウムを含むという重大な問題を抱えている。このため、新しい透明導電膜材料の

開発が望まれている。Zn₂SnO₄は、可視光域で高い透過率を示し、かつ導電性を有する。また、安価で毒性の無い元素で構成されている。これらのことから、Zn₂SnO₄は、新しい透明導電膜材料として期待されている。しかしながら、報告されている電気伝導率は低く、その物性はよくわかっていないのが現状である。本研究では、Zn₂SnO₄薄膜をRFマグネトロンスパッタ法により作製し、酸素流量比が物性に与える影響を調べた。その結果、更なる低抵抗化が必要であるが、透明導電膜としての応用の可能性が見出された。

オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 の低温プラズマ窒化と 浸炭による複合処理

山内尚彦 上田順弘 岡本 明
辻川正人

オーステナイト系ステンレス鋼は、その優れた耐食性を活かして、多くの機械部品に使用されているが、かじりや焼き付きが接触面に生じやすい。また、従来の窒化処理は、表面の硬度を著しく増加させ、耐摩耗性を大きく改善できるが、その耐食性を低下させる欠点を持つ。本報告では、クロム析出物を生成しないため、オーステナイト系ステンレス鋼の耐食性を損なうことなく表面硬化できる723K以下の比較的低温でのプラズマ窒化と浸炭ならびにそれらの複合処理により、オーステナイト系ステンレス鋼SUS304の表面に硬さと耐食性に優れた層を形成する方法について紹介する。また、種々の条件での浸炭と窒化の組み合わせによる複合処理を行い、処理材の硬さや耐食・耐摩耗性などの特性を評価し、より良い複合化の条件について検討した。

技 術 報 告

Java 言語を使用したイントラネット業務システムの開発

Development of Intranet Backbone System Using Java Technology

中西 隆*

Takashi Nakanishi

(2005年6月1日 受理)

キーワード：システム開発、業務システム、オブジェクト指向、Web アプリケーション、java、データベース、イントラネット

1. はじめに

java 言語¹⁾は、1995年にSun Microsystems社から発表された比較的新しいオブジェクト指向プログラミング言語²⁾である。実行コードがJava VM³⁾内で実行されるため、プログラムミスによる“暴走”は原理的に発生せず、きわめて安定している。さらにJava VM環境が存在すれば、一度作成されたプログラムを様々なCPUやOS上で実行できる、“プラットフォーム非依存”という特徴を持つ。コンパイラやJava VMを含むJDK⁴⁾がSun Microsystems社などから無料で提供され、現在ではインターネットやイントラネットのWebアプリケーション⁵⁾のサーバ側言語として広く使用されている。

当研究所では、平成13年度から平成16年度にかけて開発した業務処理システムのポータル（玄関）機能から研究管理、技術指導管理、掲示板等の部分についてサーバ側プログラム言語としてjava言語を使用した。ここでは、java言語の持つオブジェクト指向の考え方を活かし、さらにXML関連ライブラリやフレームワークなどOSS⁵⁾で提供されるjavaクラスライブラリを活用することで、少人数でシステムを完成させることができ、プログラムも柔軟な拡張容易なものとして構築することができた。

本稿では、当研究所の業務システムを職員自らの手で開発した体験から、業務システムを自主開発する利点と実行した開発プロセスについて紹介する。さらに、

Webアプリケーションとして業務システムを作成するために使用したjava関連技術とその利用方法、効果について紹介する。

2. 開発プロセスとプログラム構造

研究管理や技術指導管理などの業務システムは業務の変更によって変化していく性質のものである。たとえば研究管理システムでは、研究申請書、実施計画書、研究経過報告書、研究終了報告書、研究発表伺い書といった様々な管理帳票があるが、業務手順の見直しに伴って、これらの帳票類の追加や削除が考えられ、さらに各帳票に記載される項目は、より頻繁に見直される可能性がある。このような機能（仕様）変更や機能追加に柔軟に対応できるようにするためには、java言語の持つオブジェクト指向の特徴を生かしたプログラム構造が有効であった。

(1) 開発プロセス

当研究所の業務システム開発では、旧情報システムという手本は存在するものの、ユーザ（研究所職員）

*1) プログラム作成を実行手続きよりも、“オブジェクト”という機能単位で組み立てていくという概念を押し出したコンピュータプログラム言語。プログラムの開発効率、保守性の面で優れている。

*2) Java Virtual Machine: javaのマシン語を実行するソフトウェア

*3) Java Development Kit

*4) ホームページを閲覧するWebブラウザを端末側ソフトウェアとして使用して様々なサービスを提供するソフトウェアシステム

*5) オープンソースソフトウェア

の実際の活動に合致した無理のないシステムとするため、仕様を根本から見直すようにした。

通常、プログラム開発の手順として従来から提示される開発プロセスは、仕様策定、プログラミング、テスト、検収という、いわゆるウォーターフォールモデルである。ウォーターフォールモデルでは、始めに細かな仕様まで作成するため、仕様策定の段階で誤りがあった場合に開発期間が大幅に超過することが指摘されている。また、複雑なシステムでは机上で仕様を完成させること自体が非現実的である。

今回のシステム開発では、仕様策定からプログラム、テストまでを少人数の開発者で内製するため、プログラムから仕様策定へのフィードバックを迅速に行うことができた。このため、始めは最も基本的（必須）な機能によるプログラムを構築することから開始し、このプログラムを実際に動作させて担当者間で協議し、次の第二次仕様のプログラムへと発展させる。このようなプロセスを繰り返すことで、必要な機能を装備したプログラムになる。

この開発プロセスは、具体的には図1のように、まず最小限の機能を装備したプロトタイプ1のプログラムを提供し、評価を行いながら、新しい機能を追加していく。プロトタイプが進むに従って、評価に加わるメンバーを拡大し、さらに詳細な機能を装備していく。実際にプログラムを実行しながら検討することで、検討メンバーでの意思統一がし易くなり、最終的に必要な機能だけを装備したプログラムになる。

この方法の副次的効果としては、機能を段階的に増やしていくため、プログラムが機能追加に柔軟に対応できる構造になる点がある。もし、将来的に必要なかもしれない積み残しの機能があったとしても、システム運用後に余裕ができた段階で機能を追加するという方法を採用することも可能である。



図1 プロトタイプ提供サイクルによる機能追加

(2) プログラム構造

機能拡張や仕様変更の容易性を確保し、機能追加を繰り返す開発プロセスに対しては、java 言語の持つオブジェクト指向の機能が有効であった。

オブジェクトとは、一言で言えばデータ（属性）と機能を持った単位である。オブジェクトは、“継承”によって、元のオブジェクトの機能に新しい機能を追加したオブジェクトを生成することができる。

本システム開発では、機能の単位をできるだけひとつのオブジェクト（java ではクラス）として分離できるような設計を行った。オブジェクト内部のデータへのアクセスは、原則的にメソッドを介して行う（set, get メソッドによる）。図1のプロトタイプ提供サイクルでは、1サイクルでの機能追加が最小限のオブジェクトの拡張（オブジェクト内での変更）で対応できるようにした。

(3) データベースオブジェクト

業務システムの機能変更はデータベース構造の変更を伴うことが多い。このため、プログラムの各所にデータベーステーブルへのアクセスを行う部分が分散していると、データベースの変更によって書き換えなければならない部分が多くなり、バグの混入を招きやすくなる。このため、特定のデータベーステーブルへアクセスするプログラムコードをひとつのオブジェクト（データベースオブジェクト）に集約し、その他のオブジェクトからデータベースへアクセスする必要があるときは、データベースオブジェクトのメソッドを介してデータの受け渡しを行うようにした。

(4) XML テキストの活用

本システムで使用しているデータベース管理ソフトウェアである PostgreSQL はリレーショナルデータベース（RDB）である。RDB は2次元テーブル構造を前提としているため、可変個数のデータをひとつのテーブルに格納したり、階層構造を持ったデータを格納する場合、複数のテーブルを用意し、それらを複雑にリンクする形でデータベースを設計しなければならない。

データベース構造が複雑になると、機能拡張や仕様変更に伴って複雑なテーブル構造を修正したり再構築する必要がある。これを避けるため、データベースへの格納形式として XML 形式を使用した。可変個数のデータや、階層構造を持つようなデータは、XML テキスト形式でデータを格納する。このことは、データベースの格納効率やデータ検索速度、および XML 形式への変換のオーバーヘッドなどのデメリットが考えられるが、検索キーが含まれないデータなど、速度的に問題が無いと考えられる部分に対して適用した。

(5) MVC モデルフレームワークの採用

Web アプリケーションでは、一般に MVC モデルというスタイルでプログラム構造を構築するのが効率的と言われている。MVC モデルとは、業務処理のロジックを担当する Model、表示部分を担当する View、クライアントからの要求を受け、Model を起動して処理を実行し、View へ制御を渡して表示を行う Controller という3つの部分にプログラムを分けて作成しようとする考え方である。これによって、Model 部分を他のアプリケーションへ利用するなどプログラムの再利用性が高まり、また View 部分をデザインセンスがあり、HTML などのホームページ作成に詳しい人が担当するなどプログラムを分担して行うことが可能になる。

本システム開発では、java で MVC モデル開発を実現するためのフレームワークとして一般的なツールとなっている Struts を使用した¹⁾。Struts の動作の概要を図2に示す。

まず、ブラウザからサーバへリクエスト (URL) が発行される(①)。通常この URL は末尾が“.do”となっており、これによって Struts エンジンへ制御が移る。Struts エンジンは、設定ファイルから URL に対応するエントリを探し出し(②)、一致するエントリで指定された ActionServlet クラスを呼び出し、制御を渡す(③)。ActionServlet クラスは、対応したロジックを実行し (Model)、制御を Struts エンジンへ戻す (④)。このとき実行結果をステータスとして渡す。Struts エンジンは、ActionServlet から戻されたステータスに基づいて、指定された表示ページへ制御を移す (⑤)。

通常、Struts では表示ページとして JSP(java Server Page)を想定しているが、本システムでは同じ jakarta プロジェクト²⁾の成果物である Velocity を導入した。

定義ファイル(URL に対して、処理を実行する ActionServlet、および処理後表示するページを定義)

URL	ActionServlet	ステート 1	表示ページ 1
		ステート 2	表示ページ 2
		ステート 3	表示ページ 3

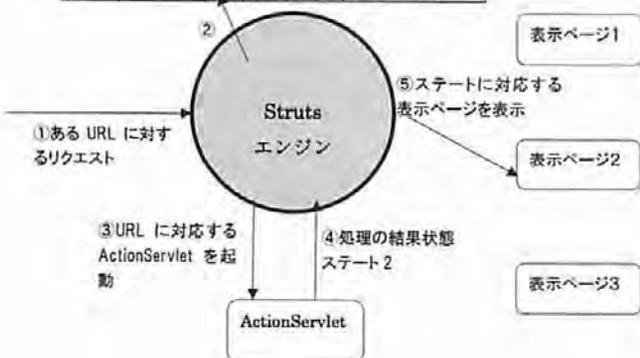


図2 Struts の動作概要

```
<table border="0" cellspacing="0" cellpadding="4" >
<tr><td>
<i><b>Topic: <%=
meeting.getTopic() %></b></i><p>
<%=
evellist=meeting.getStoredEventsIterator();
for( i=0; i<evellist.length; i++) {
    event=evellist[i];
    yapper =
meeting.getParticipation(event.getFromId());
    if (Sevent.getClass().getName().equals(urlEvent)){
        if( repRole.equals(yapper.getRole()) ){
    %>
        <font color="<%=blk%>">
            <b><%=yapper.getName()%></b>
        </font>
    %>
        }
    } else {
    %>
        <font color="<%=blu%>">
            <b><%=yapper.getName()%></b>
        </font>
    %>
        }
    }
    %>
    <a href="<%=event.getStoredData()%>">
        Sevent.getStoredData()
    </a> <br>
    %>
    }
    }
    %>
<br><%=meeting.getMeetingId()%>:<%=repld%><br>
</td></tr>
</table>
```

(a) JSP によるコード例

```
<table border="0" cellspacing="0" cellpadding="4" >
<tr><td>
<i><b>Topic: Smeeting.getTopic()</b></i><p>
#foreach( $event in $meeting.getStoredEventsIterator() )
    #set( $yapper =
    Smeeting.getParticipation($event.getFromId() ) )
    #if( $event.getClass().getName().equals($urlEvent) )
        #if( $repRole.equals($yapper.getRole() ) )
            #set( $repld = $yapper.getParticipantId() )
            <font color="<%=blk%>">
                <b>$yapper.getName()</b>
            </font>
        #else
            <font color="<%=blu%>">
                <b>$yapper.getName()</b>
            </font>
        #end
        <a href="<%=event.getStoredData()%>">
            $event.getStoredData()
        </a> <br>
        #end
    #end
<br>$meeting.getMeetingId():$repld<br>
</td></tr>
</table>
```

(b) Velocity によるコード例

図3 JSP と Velocity のコード記述の比較

Velocity の言語は表示に特化した機能しか持たず、JSP のソースコードよりも制御構造が捉えやすい特徴がある。図 1 に JSP と Velocity によるコードの記述例を示す。(b) の Velocity コードの方が、HTML ドキュメント中に # で始まる制御コマンドや、\$ で始まる変数を直接記述できるなど JSP のソースに比べて視認性が良くなっている。さらに、JSP で記述する場合はプログラマが意識しないと表示の役割を越えた機能を盛り込んでしまう可能性もある。

3. システム要素技術

(1) ユーザ認証

システムの認証メカニズムは、Java Servlet 2.4 標準で用意されている認証機構を使用した。特定の URL に対するアクセスには、コンテナの認証メカニズムが働いて図 1 に示すログイン画面が表示される (FORM 認証方式)。ここで、職員番号とパスワードを入力すると、サーブレットコンテナがデータベース内の ID、パスワードを検索し、正しければ認証が成立し、アクセスされたページを表示する。

認証が成立すると、コンテナはセッションを設定し、セッション ID をクライアントの Cookie へ格納する。これ以降のアクセスでは、Cookie からセッション ID を取り出して利用ユーザが識別される (ブラウザで Cookie を有効にしていなければならない)。

Java Servlet 認証では、「ロール」という認証レベルを使用してアプリケーションのアクセス制御を行うことができるが、本システムではロール機構は使用していない。これは、ロール機構はユーザ単位で設定する必要があり、組織変更などでの管理作業が複雑になるためである。

代わりに、アプリケーションごとに組織の所属あるいはユーザ単位でアクセス権を与えるようにした。この方法ではプログラムレベルでアクセス権チェックを

これより先は、ユーザ識別を行います。
以下の内容を入力し、[ログイン]ボタンをクリックしてください。

職員番号(半角):
パスワード:

重要!!
ログインできない場合は、イントラネットセキュリティの設定に従って、セキュリティを設定してください。

パスワードを忘れた方は、下記にインターネットメールアドレス@triprefosakaから問い合わせを入れてください。そのアドレスにパスワードを通知します

メールアドレス(半角): @triprefosaka.jp

図 4 ログイン認証画面

来 所 対 応 票

担当職員氏名		前担当職員氏名		受付日時 平成17年 5月 9日 16:33	
中西太郎		中西太郎		前回来所日	前回来所目的
				平成17年 4月20日	クレーム対策
TRT番号	K003347				
氏名	産技研太郎 (サンギケンタロウ) 様				
会社名	大阪府立産業技術総合研究所 (オオサカフリツサンギョウギジュツケンキョウシヨ)				
所属部署	情報電子部				
役職					
電話番号 / FAX	TEL:0725-51-2525 FAX:0725-51-2522				
Eメール	esvil@addr				
住所	大阪府和泉市あゆみ野2-7-1				
業種	公務				
資本金	〇-5千万 5千万超-1億円 / 1億円-3億円 / 3億円超				
従業員数	1-5 6-20 / 21-50 / 51-100 / 〇101-300 / 301-				
業所目的					
試験(機器使用)の目的	1. 技術の向上 2. 品質管理 3. 証明書 4. クレーム対策 5. その他 ()				
試験料名	提出試験料 () 点				
試験コード	試験名	試験係数	条件係数	試験数	備考
報告書受領	要	否	試験別報告	要	否
			試験返還	要	否
			報告書郵送	要	否

図 5 来所対応票 (PDF 文書)

行う必要があるのですが、プログラムの過程でチェック漏れが発生する可能性があるが、アクセス権設定の作業の簡易性を優先した。

(2) 帳票出力 (FOP ライブラリの利用)

業務システムでは決まった体裁の帳票が必要となるケースが多い。本システムでは、たとえば図 1 に示すような来所対応票を出力している。

端末として様々な機種種の PC やプリンタが使用される Web システムでは、常に定まった形式の印刷出力を得るために Adobe 社が開発した PDF 形式を利用することが標準になっている。PDF 形式のファイルは、利用するコンピュータや OS、およびプリンタが異なっても同じ印刷出力を得られることを目的として作られた形式である。PDF 形式で帳票を出力することで、印刷はもちろん、帳票をファイルで保存したりメールで送信するなど様々な利用をすることができる。

Java アプリケーションで PDF ファイルを出力するには、いくつかのライブラリが利用できるが、本システムでは Apache Software Foundation の XML プロジェクトから提供されている OSS の FOP ライブラリを使用した。

FOP では、帳票文書のページサイズや罫線、表組み、表示フォントなどの体裁を記述した XSL ファイルによって帳票のレイアウトなどを制御できる。複数の体裁ファイル (XSL ファイル) を用意しておく、ひとつのデータから様々な形式の帳票を出力することができる。このことは、帳票の体裁ごとにプログラムを用意する必要がないことを意味する。

(3) バーコードリ

電子メディア以外とコンピュータを結びつける方法には磁気ストライプやバーコードがある。磁気ストライプは磁気カードとして多く使用されているが、紙に使用できない点や出力に専用の装置が必要などのデメリットがある。一方、バーコードはプリンタで出力でき、読み取り装置も安価に購入できる。

当研究所では、従来は顧客カード(TRI カード)として磁気カードを使用してきたが、今回のシステムでは、より汎用的に使用できるバーコードに変更した。また、処理書などに識別コードをバーコード印刷することで、紙媒体と電子情報との照合をミス無く簡単に行えるようになった。

バーコードには表現できる文字数によって多くの体系が存在しているが、本システムでは英数字を扱える Code128 を採用した。

バーコードはサーバ内で画像として生成し、呼び出し側のリクエストに応じて画像を返すサブレットとして作成した。たとえば、`http://サーバ/Barcode/barcodeimage?code=<コード>` という URL にアクセスすると、<コード>を表現する Code128 のバーコード画像 (JPEG) を生成する。

生成するページ内に希望のコードを指定した URL を (IMG タグで) 埋め込むことで Web ページにバーコードを表示できる。また PDF 出力する帳票でも、体裁ファイルの記述文法に同様の機能があり、図5の来所対応票のバーコードはこの機能を使用して表示している。

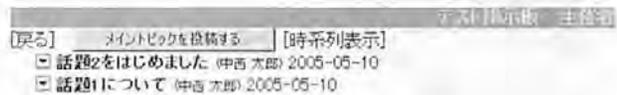
このようにバーコード生成機能を Web サービスとして用意することで、連携している別サーバのアプリケーションからも利用できる。

(4) ブラウザプログラミング

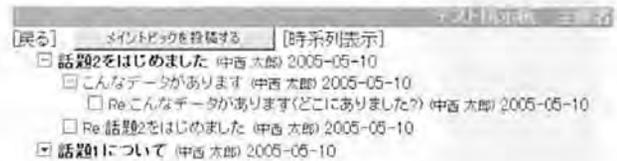
クライアント側に Web ブラウザを使用するイントラネットアプリケーションでは、アプリケーションの操作性を良くするために通常の HTML だけでなく、JavaScript や VBScript、および DynamicHTML などブラウザ側で動的な画面を実現する機能を活用する必要がある。本システムでは、DynamicHTML と JavaScript を利用して動的な画面を実現した。

たとえば、入力項目の最大数を決定できないような場合、入力者が項目の追加ボタンをクリックすることで入力フィールドを増やしたり、不要になったフィールドを削除する、など Web ブラウザ画面で簡単な編集作業を行うような操作性を持たせることができる。

また、ある選択項目 (ラジオボタン) の選択状態によって、別の選択項目のリストを変更するといったバ



(a) すべての項目が折り畳まれた状態



(b) 項目を展開した状態

図6 DynamicHTML の使用例(掲示板)

ージを作成することも可能である。

さらに多くの情報が表示される画面で、必要な情報をユーザが選択して表示する機能を持たせることができる。図6は、掲示板システムで話題のツリー構造を折り畳み/展開表示する機能を DynamicHTML で実現した例である。

(5) サーバ連携

当研究所の情報システムは、他に2つのサーバで構成している。これらのサーバは、開発担当者によって使用しているプログラミング言語や OS がそれぞれ異なっている。

これらのサーバが担当する作業を行うときには、別のサーバへ接続するが、このときメインのサーバで認証されたユーザ情報をそのまま利用しなければならない。このための仕組みとして SOAP プロトコルでユーザ情報を伝達する仕組みを用意した。

図7に動作概要を示す。3(1)の「ユーザ認証」の節で示したように、サーバと利用者に関連づけるためにブラウザの Cookie に格納された「セッション ID」を読み出してユーザを識別しているが、Cookie は、それ

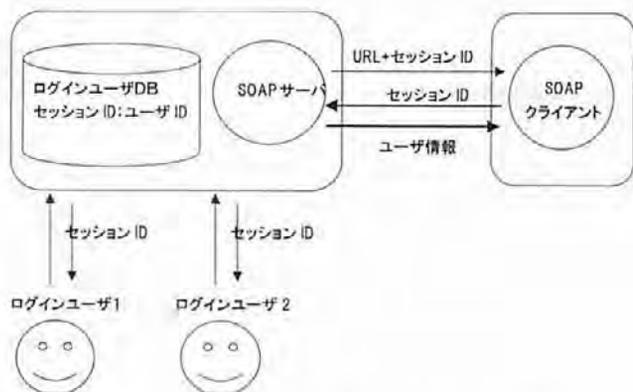


図7 SOAP によるログインユーザの共有

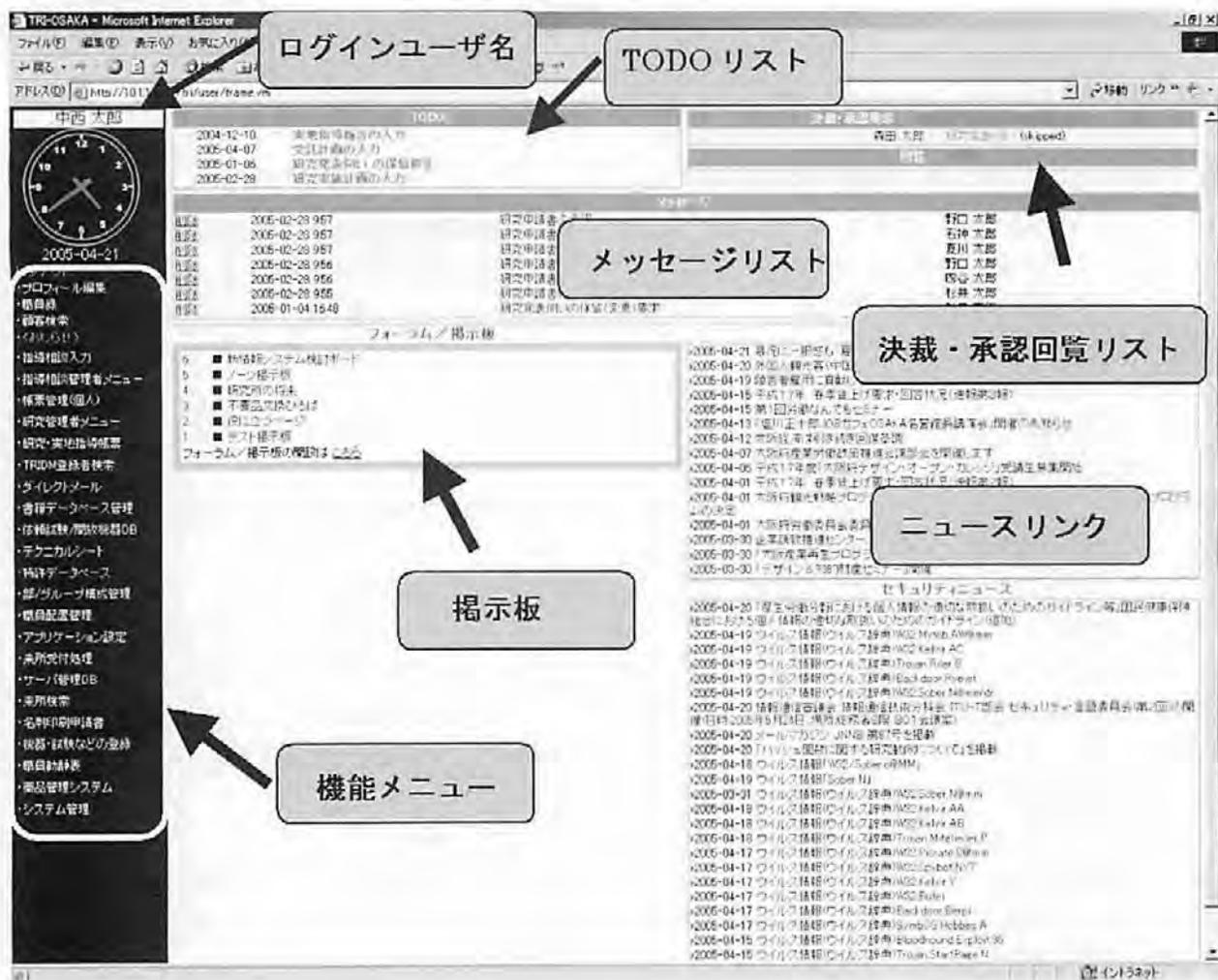


図8 画面構成（ポータルページを表示中）

を作成したサーバからしか読み出すことができない、このため、別サーバにある機能を選択したときは、以下のように sessid というパラメータをつけてセッション ID を伝達するようにした。

http://XXXX/XXXXXX?sessid=a0upHQw4IP76

呼び出されたサーバは、受け取った sessid パラメータを使って、ログイン元(できるだけヘッダの Referer を参照)の SOAP サーバに対して問い合わせを発行することで、ユーザ情報を得ることができる。

4. 画面構成（ポータルページ）

システムの画面構成を図8に示す。画面は大きく、左フレームのメニューリストと、右フレームの作業領域に分けた。メニューフレームはシステムでの作業中、常に表示し、任意の時点で異なる作業へ移行できるようにしている。

メニューリストに表示される機能は様々で、職員毎に利用可能な機能を設定する必要がある。これらの機

能を各職員が利用できるかどうか設定する場合、個人ごとに指定できるようにすると細かく設定することができるが、業務システムの場合は所属組織単位で扱う方が便利なケースが多い。そこで、各業務ごとに所属（部、グループ）単位での指定と、個人での指定の両方で行えるようにした（図9）。職員が許可された部やグループに所属しているか、個別に許可された職員である場合にメニュー項目が表示される。この方法は、所属変更が発生した場合に各アプリケーションのアクセス制御を設定する必要が無いというメリットがある。

TODO リストには職員が作業しなければならない項目を表示する。このリストをクリックすることで、即座に作業画面を表示する。作業を終えると TODO の項目は自動的に削除される。

承認依頼リストは、研究管理帳票などの決裁/承認の回覧リストを表示する。リストの項目をクリックすることで、帳票の承認画面を表示する。

メッセージリストには、システムからの通知メッセージを表示する（現在は、承認作業における応答メッ

承認者が承認要求リスト項目をクリックすると、帳票の内容が表示され、承認者は、それを承認するか保留指示するかを選択する。

本システムでは、承認拒否という選択肢は用意していない。どうしても帳票の承認が不可能な場合は、いったん保留し、申請者に対して承認要求の取り下げを電話や対面で指示することで対応する。

フローテーブルレコードが“承認”されると、ワークフローエンジンはレコードの承認ステータスを“承認済み”に設定し、同じ案件に対する未承認のレコードがないかどうかを調べ、無い場合は現在の承認レベルの次のレベルのフローテーブルレコードを生成する。

このようにして、フローテンプレートの最終承認レベルまで承認された案件は“承認済み”となる。

(4) 帳票オブジェクト

先に示した研究管理帳票類は、それぞれ java のオブジェクト (クラス) として定義した。これらの帳票類には共通部分も多いため、基本オブジェクトを定義し、それを継承・拡張してそれぞれの帳票オブジェクトを生成した。

基本オブジェクトは、添付ファイル機能、決裁 (承認) コメント機能を持ち、ワークフローエンジンから制御できるようにするためにワークフローエンジンへのインタフェースを備えている。このインタフェースに従ったメソッドを定義することで、承認プロセスの開始時、承認時、承認プロセスの完了時に必要な処理をワークフローエンジンから呼び出すことができる。

(5) 添付ファイル

帳票はあらかじめ決められた形式に従い、決められた内容をテキストだけで記述するもので、図面やグラフ、写真、などいわゆるマルチメディア情報を扱うことはできない。研究に関する報告を扱う場合には、これらのマルチメディア情報も必要であり、テキストによる情報伝達だけでは不十分である。このため、本システムでは帳票に対してファイルを添付できる機能を持たせた。ファイルはコンピュータで扱えるファイルであれば何でも添付できるようにしている。また、サイズ制限も特に設定していない (ネットワーク通信速度によって実用的な送受信時間が決まり、それによってサイズが決まってくる)。

Web ブラウザを介してファイルをサーバへアップロードする方法は、RFC1867 で規定されているフォームベースのファイルアップロード仕様に基づいてプログラミングを行った。サイズが大きいファイルに対応し、サーバ内での二次的なデータ移動が発生しないよう、クライアントから受け取ったデータを直接指定

のファイルへ書き出す機能を持たせている。

6. 技術相談管理システム

公設試験研究機関にとって企業に対する技術相談は最も重要な業務のひとつである。当研究所には、平均して毎日数十社程度の企業が技術相談や依頼試験、機器利用に訪れている。また、電子メールや電話等での相談もそれ以上の数に上る。これらの実勢を統計的に把握することは、研究所の業務運営 (経営) にとって非常に重要なことである。

しかし、職員にとってこれらのデータの報告作業は非常に煩わしい、よけいな仕事として受け取られてきた。これには、業務運営のシステムもさることながら、以前の情報システムが使いにくく、さらに入力したデータを職員が直接活かすことができなかったことが原因と思われる。

従来のシステムでは、来所相談と電話相談で入力画面の入り口が異なり、さらに画面インタフェースが洗練されていないため入力に時間がかかった。たとえば、選択項目を入力するためには、選択項目を表示するボタンをクリックし、さらに表示された内容をスクロールして該当する項目をクリックするという操作が必要であった。また、繰り返し同じ内容で相談を行うケースが多いにも関わらず、毎回、同じように相談内容などを入力しなければならなかった。

今回のシステムは旧システムでの弊害を考慮して、職員ができるだけ短時間に入力でき、入力したデータを直接日々の仕事に生かせる履歴データとして参照できる機能を装備した。

図 11 に指導相談対応入力画面を示す。ここで工夫した点は、選択すべき項目はスクロールなどすることなく 1 画面で表示し、最適な項目を選択しやすくしたことである。たとえば、選択項目が 10 個以下程度のもの (『対応の方法』, 『所要時間』, 『業務の種類』) ならば、ラジオボタンまたはチェックボタンですべて画面に表示する。それより多い項目を選択する必要があるもの (『対象物』, 『相談内容』) については、ボタンをクリックすると選択項目をすべて一覧表示する別ウィンドウを表示し、該当する項目を選択することで入力画面に反映されるようにした。

今回の相談が以前の継続である場合は、『関連相談を指定する』というボタンをクリックすることで、職員が入力した履歴を一覧表示し、選択することで以前の内容が入力画面に流れ込むようにしている。

以前は、相談報告は後でまとめて入力するケースが

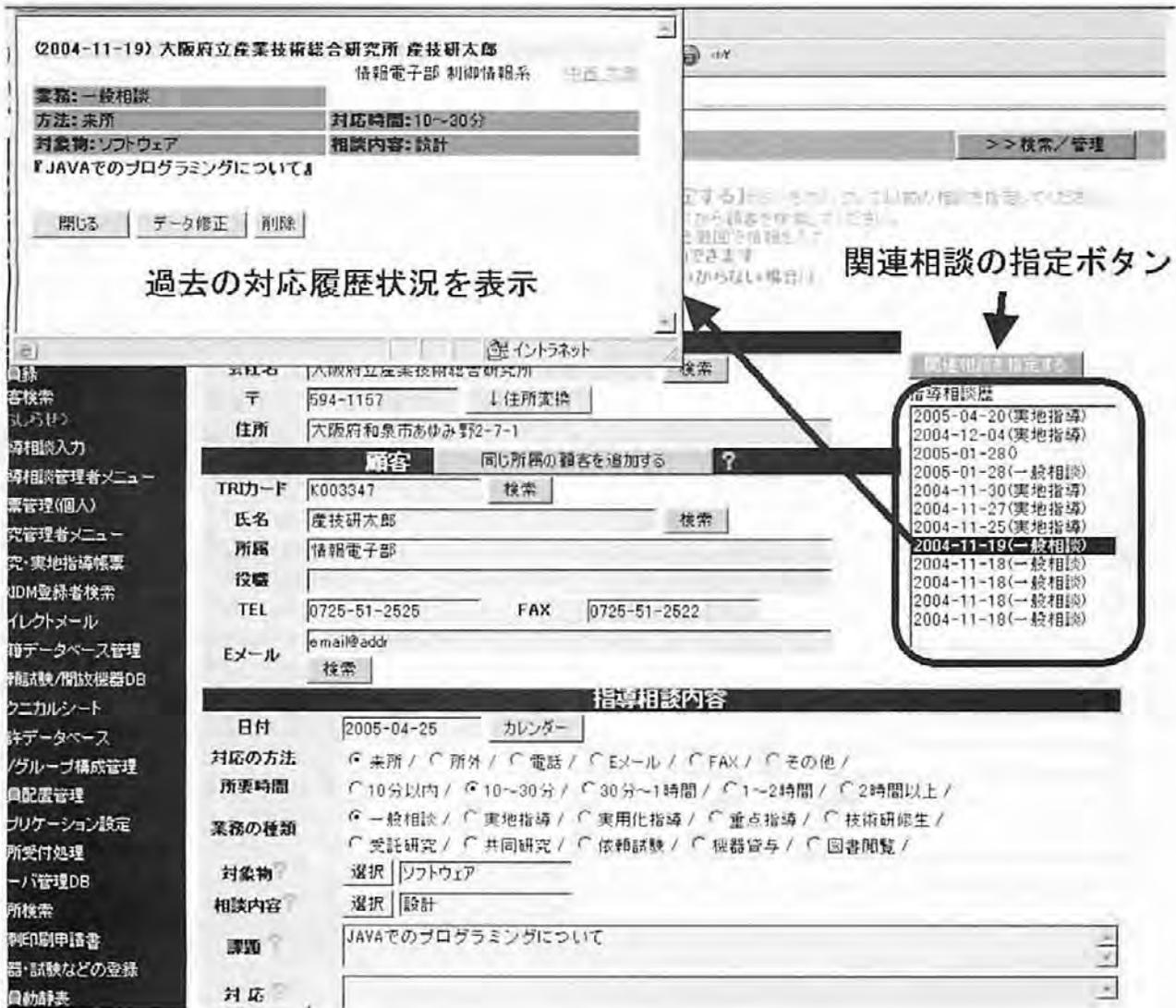


図 11 指導相談対応入力画面

ほとんどで、管理側にとってもリアルタイムの情報を得ることができなかつた。今回のシステムでは、病院における電子カルテのように、対応している場面で相談報告を同時に行うという運用を想定し、入力画面で相談者の過去の履歴を検索表示できるようにした。入力画面の『指導相談歴』というフィールドには、入力している職員以外が対応したものを含め、相談者の以前のレコード(履歴)を表示する。これをクリックすることで、相談者が以前にどのような問題を持って研究所を利用したかを参照できる。

7. 運用評価

本システムは、原稿執筆時点で本格運用開始後ほぼ1年が経過している。これまで、本システム自主開発の目的のひとつである操作性向上は、非常に満足されている。職員(筆者)が自分で使用するシステムであるので、目的や入力作業の問題点について詳しく把握

できていた点が大きかったと思われる。また、DynamicHTMLによる動的ページは、入力者の負担や画面構成の柔軟性の点で非常に有効であった。

本格運用してからこれまでに大きな変更点として、ワークフロープロセスの変更があったが、ワークフローエンジンとして分離していた構成や、データベース操作をひとつのクラスに集約していた構成が有効に機能し、短時間でシステムを変更することができた。

さらに PDF 出力帳票の形式変更に対する対応も幾度かあったが、ほとんどは体裁設定ファイルのみの変更で対応することができた。

プログラムの変更に関して java で作成したプログラムを修正する場合、サーブレットコンテナの再起動が必要なため、ユーザセッションが喪失してしまう。このため、システムが使用されない夜間から早朝にかけてや、昼休み時間のタイミングでしかプログラムを更新できない点が少し不便である。表示部分を担当する Velocity の変更については、このような問題がない

ので細かな画面表示の修正はシステム稼働中にいつでも実行することができる。

8. おわりに

システム開発のボトルネックは要求仕様の作成である。システムを外注する場合は、予算を決定し、一度にシステム構築を行う必要がある。そのため、要求仕様を明確にしてからソフトウェア会社へ発注しなければならない。しかし、以前の文字端末の時代と比べて最近の GUI はより複雑で、PC やサーバ同士がネットワークで複雑に連携しており、仕様を詳細に決定すること自体が非現実的である。自主開発を行った今回のシステム開発でも、実際に“仕様“というものの設定の難しさを痛感した。現場と管理側のシステムへの要求が大きく違っており、話し合いだけで妥協点を見出すことは不可能と感じた。

自主開発の利点は、システム開発を長期的に考えられる点であろう。小さいシステムから運用を開始し、実際に動作するシステムを見ながら議論を進めていくことができる。その間にシステムを成長させていけば失敗の危険も少くなる。

従来、システムの自主開発は部門内の限定されたソフトウェアに限られていたが、近年のソフトウェア開発技術の進歩は著しく、この既成概念を覆す可能性が高い。本稿の部分では java を使用したが、より簡単と言われている PHP 言語も広く使用されている。言語だけでなく、これらの言語によるライブラリがインターネットを通して、しかも無料で入手できるようになった点がさらに大きい。大げさな表現で言えば、システム開発が DIY (Do It Yourself) で行える環境が整ってきたと言える。

今後は、本業務システムの機能をさらに強化するとともに、システム開発での成果物をプログラム部品として提供できる形でも発信したい。

参考文献

- 1) java, SunMicrosystems : URL <http://java.sun.com/>
- 2) Apache jakarta プロジェクト : URL <http://jakarta.apache.org/>
- 3) Struts プロジェクト : URL <http://struts.apache.org/>
- 4) バーコードとは, 日栄インテック株式会社 : URL http://www.barcode.co.jp/about_barcode/index.html

Web アプリケーションによる業務システムの構築

Development of Enterprise System as Web Application

石島 悌*
Dai Ishijima

(2005年6月1日 受理)

キーワード：クライアント・サーバ・システム、オープンソース、データベース、PHP、JavaScript

1. はじめに

インターネットはこの10年ほどで急速に発展し、我々の社会生活に欠かせない情報インフラに成長した。インターネットでは、電子メールのような基本的なツール以外にさまざまなサービスが提供されており、そのサービスの充実がさらなるインターネットの成長につながっている。

ネットでのサービスの代表的なものには、国税庁の確定申告などの行政サービスや、オンラインバンキングなどの金融サービス、そして、チケット予約やショッピングサイトなどのオンラインショッピングがある。これらのサービスの多くは、Web ブラウザをユーザインタフェースとした「Web アプリケーション」として実装されている。

この Web アプリケーションは、インターネット上のサービスだけでなく、インターネットの仕組みを企業内などの LAN に適用したイントラネットでも広く使われている。その代表的なものは、企業内のさまざまな情報を共有し、一元管理するための「グループウェア」である。

大阪府立産業技術総合研究所では、1996年から運用していた所内情報システムを2001年から新たに Web アプリケーションとして再構築し、2004年からその運用を開始した。本報告では、Web アプリケーションについて説明し、当研究所の業務システムの特徴を解説する。

2. Web アプリケーションとは

Web アプリケーションとは、Web (いわゆるホームページ) の仕組みを使って実現したアプリケーションソフトウェアあるいはサービスのことである。このシステムは、データを管理するサーバと、ユーザインタフェースを担当するクライアントから構成されるクライアント・サーバ型のシステムである。

従来からのクライアント・サーバ型のシステムと異なるのは、クライアント側に必要なシステムが Web ブラウザだけであり、特別なソフトウェアを必要としないことである。また、通信プロトコルに HTTP を使っているなど、インターネット・イントラネットで広く使われているリソースを十二分に活用していることもその特徴である。

これらの特徴は、システム構築に必要なコストが従来のクライアント・サーバ型のシステムよりも少なく、またシステム更新にも柔軟に対応できるというメリットにつながっている。

多くの Web アプリケーションは、図1のように、データベース、Web サーバ、Web ブラウザの3つの要素から構成されている。データベースはシステムで必要なデータを一元管理し、Web サーバは画面生成やデータ処理などを担当する。Web ブラウザはユーザへの画面表示やデータ入力などのユーザインタフェースを担当する。

インターネット上のさまざまなサービス構築において、サーバ側のシステムではオープンソースやフリーウェア

* 情報電子部 制御情報系

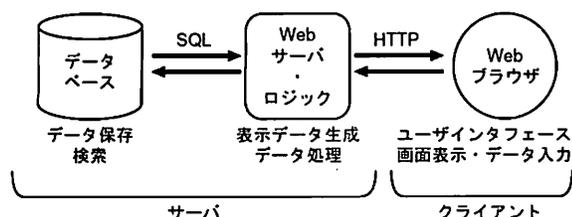


図1 3層クライアント・サーバ・システム

アが使われることが多い。当研究所の業務システムにおいても、データベースや Web サーバはオープンソースソフトウェアを活用している

3. 当研究所の業務と情報システム

当研究所では、府内企業の支援を目的として、研究、技術相談、依頼試験・機器利用（依頼試験機器および施設・設備の利用）などの業務を行っている。これらの業務をスムーズに行うために、1996年の和泉市への移転・統合以降、業務で必要となる情報をオンラインシステム¹⁾で管理してきた。

この所内情報システムは、サーバに UNIX ワークステーション、クライアントに Windows パソコンを使ったクライアント・サーバシステムとして構築された。しかし、導入後の年月の経過とともにデータの増大によってシステムの動作が遅くなってきたこと、蓄積したデータをうまく活用できないこと、システムそのものが旧式化してきたことなど、さまざまな問題が顕在化してきた。

このため、当研究所では 2001 年より新しい情報システムを検討し、柔軟性や拡張性に優れた Web アプリケーションでの構築を開始した。また、従来のシステムはそのすべてを外注としたが、新しいシステムでは、所内のスタッフがその大部分を作成した。システムの中核となるソフトウェアには、オープンソースソフトウェアを採用し、コストを大幅に削減したことも大きな特徴である。

オープンソースを用いた業務システムは、他の自治体や研究機関などでも採用事例はあるが、いずれも外注作成である。システムの仕様作成からコーディングに至るまで、その大部分を職員みずからが行った例は極めて希であり、このことは当研究所のスタッフのさらなるシステム開発能力向上やノウハウの蓄積につながった。また、職員が開発を行っているので、仮にトラブルが発生しても速やかに対処できる。これはシステムの仕様変更にも柔軟に対応できるというメリットにつながっている。

4. 新しい業務システムの構成

業務システムのうち、依頼試験・機器利用システムを題材としてその構成を説明する。

(1) ハードウェア構成

業務システムのクライアントは、Windows 2000 および XP を搭載した、いわゆる「Windows パソコン」である。これらは、ユーザインタフェースを担う Web ブラウザがストレスなく動作するものであれば問題ない。現在は Pentium III 800MHz あるいは Celeron D 2.4GHz を搭載した Windows パソコンが使われている。クライアントの総数は百数十台程度である。

サーバは、2.4GHz の Xeon プロセッサ 2 基を搭載したいわゆる「PC サーバ」である。対障害性を高めるために、ストレージには SCSI RAID を採用している。

クライアントとサーバをつなぐネットワークは、1996 年の研究所移転・統合時に敷設したネットワークをそのまま利用している。なお、吹田の皮革試験所は、従来は ISDN による低速なネットワークで接続していたが、現在は光ファイバを使った IPsec VPN で接続しており、セキュリティを確保しつつ遠隔拠点においてもストレスなくシステムを使うことが可能となった。この VPN の構築・運用も研究所の職員が行っている。

(2) ソフトウェア構成

クライアントは Windows 2000 SP4 または XP SP2 上で動く Internet Explorer の 5.5 SP2 または 6.0 SP2 を使っている。ブラウザが異なるとその仕様の違い、特にブラウザで動作する JavaScript の違いから、Web アプリケーションの動作に微妙な違いが現れることがある。このため、ブラウザは Internet Explorer に限定している。しかし、実際にはできるだけ差異が目立たないように

プログラム上で工夫を行っている。このため、Mozilla Firefox などのオープンソースのブラウザでも大部分は問題なく動く。また、クライアントの OS も Windows に限定されることはなく、Mac OS や Linux などを搭載したパソコンでも業務システムを使うことが可能であると思われる。

また、一部のシステムについては、研究所内で利用している携帯電話（構内 PHS）をクライアントとして使うこともできる。この部分は、Compact HTML に準拠した携帯電話向けのページを別途用意している。

このように幅広いクライアントに対応している点も、当研究所の業務システムの特徴の一つである。

サーバでは OS に FreeBSD²⁾、データベースに PostgreSQL³⁾、Web サーバに Apache、サーバで動作す

るロジック部に PHP⁴⁾を採用している。いずれもインターネットで広く使われ、実績のあるオープンソースソフトウェアである。

これらのオープンソースを活用しているのは、単にコストを削減するということが理由ではない。当研究所では、1996年以降、さまざまなネットワークサービスの提供⁵⁾や研究^{6,7)}をこれらのソフトウェアを活用して行ってきた。そこでの実績や信頼性が採用の理由の一つである。

(3) 異なるシステム間の同期

ここまで、依頼試験・機器利用システムの構成について説明したが、このシステムは単独で完結したものではなく、他のシステムともデータを共有している。そのデータには、職員や研究所利用者の情報がある。このマスターデータは、来所相談・研究管理システムが動いているポータルサーバに存在している。

このポータルサーバは OS に Linux、データベースに PostgreSQL, Webサーバに Resin, ロジック部に Java を採用している。依頼試験・機器利用システムのサーバとポータルサーバは、必要に応じてお互いのデータをやりとりしている。

OS やロジック部といったアプリケーションの根幹に違ったソフトウェアを採用しているが、SQL や SOAP (Simple Object Access Protocol) の問い合わせ

をうまく活用することによって、システムの利用者はサーバの違いなどを意識することはない。

このように異なるシステム間でデータを相互運用していることも当研究所の業務システムの大きな特徴の一つである。また、このようにサーバ間でデータをやりとりしている手法は、将来のシステム交換時のデータ移行にも役立つと思われる。

(4) 他のシステムでのデータ活用

本システムはデータベースに PostgreSQL を利用しているが、このデータベースでは ODBC (Open DataBase Connectivity) ドライバを使うことによって、MS Access をフロントエンドとして用いることができる⁸⁾。このため、データベースに蓄積した情報を、このシステムそのものだけでなく、Access などを使って集計するといった処理を行うことができる。

このように、蓄積された情報を他のシステムでも簡単に活用することができることも、本システムの特徴の一つである。

5. Web アプリケーションの実際

(1) 処理の概要

依頼試験・機器利用業務においては、まず、

- どのお客様が
- どんな試験あるいは機器を
- いつ、どれくらい利用するか
- その時の担当職員はだれか

という情報を確定する必要がある。次に、この情報に基づき、

- 受付票発行
- 会計処理
- 領収書発行

を行う。そしてその後、依頼試験を実施したり機器を利用していただくことになっている。さらに必要に応じて、試験報告書などを作成するなどして、一連の業務が完結する。

これらの一連の処理をプログラムとして作成することになるが、このうち、情報の確定処理をブロック図で表現すると、図2のようになる。

この処理は大きく入力部分と登録部分の二つに分けることができる。そのため、この処理は二つのプログラムとして実装することとなる。

入力部分は、機器利用を例にすれば図3のようになる。この画面では、利用者や機器、使用日、担当職員など多くの項目を入力する。しかし、実際にはそのすべてを一から入力する必要はない。項目によっては画

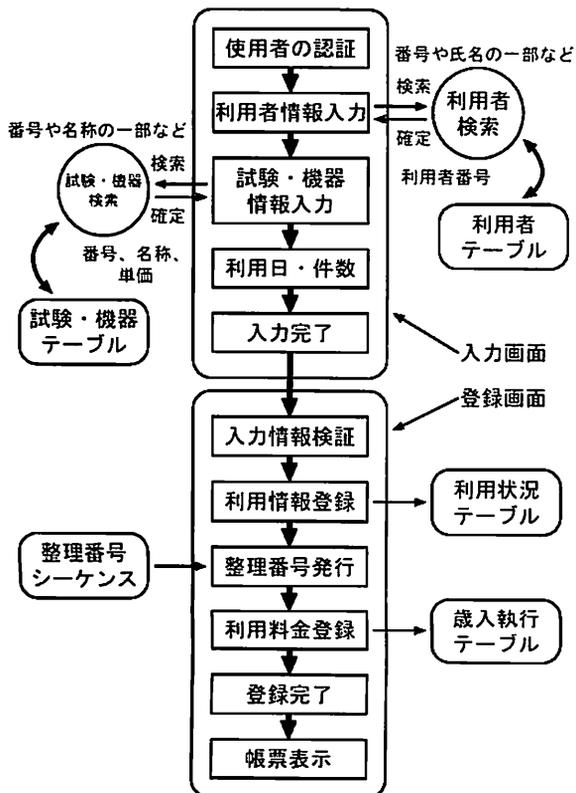


図2 情報確定処理

面が表示される時点であらかじめ値が設定されている。職員は、空欄となっている項目や修正が必要な項目だけを入力すればよい。

機器の利用料金は、使用日および時間を入力すると即時に計算される。

すべての項目を入力し、登録ボタンを押すと図4の登録完了画面が表示される。もし、未入力の項目があったり、入力項目間で矛盾があった場合は、それを修正するようにメッセージが表示される。

(2) プログラムの概要

この図3、図4の二つの画面は、それぞれ一つずつのプログラムとして実装している。次にこれらのプログラムについて説明する。

(A) 入力画面のプログラム

入力画面では、あらかじめサーバ側で次の処理を行う。

- システム使用者の認証を行う



図3 機器利用入力画面

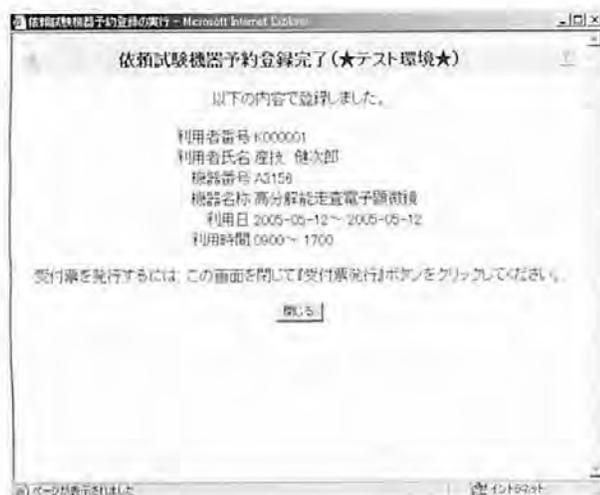


図4 機器利用登録完了画面

- あらためて入力する必要のない項目について、データベースを検索するなどして値を設定する
- これらの処理は PHP で記述する。なお、認証については前述のとおり、ポータルサーバへ SOAP で問い合わせを行うようにしている。

次に、入力のためのフォームと設定済みのデータをブラウザに渡す。これらは通常の Web ページ同様に HTML で記述されている。設定済みのデータなど、ページが表示されるごとにその内容が異なる部分は PHP で HTML を生成している。ブラウザで処理するための JavaScript も HTML に埋めこまれて渡される。

ブラウザは通常のページと同様に、サーバからのデータを受信し、それを表示する。ここからの処理はブラウザが担当する。

ブラウザは画面の表示後、ユーザからの入力に応じて各項目に値を設定する。また、画面上のボタンが押された場合は、JavaScript であらかじめ定義された処理を行う。料金の計算も JavaScript で行っている。

登録ボタンが押されると、JavaScript を使って未入力項目などをチェックし、問題がなければ、登録画面を生成する PHP プログラムに各項目の値を引き渡す。

以上の処理は、一つのファイルに図5のように書き込まれている。

このファイルでは、先頭部にサーバ側で行う処理が PHP で記述されている。その次に、クライアントで行う処理が JavaScript で定義されている。ファイルの中央部では、画面に表示される内容が HTML のフォームで定義されている。ファイルの末尾には、画面が表示された直後にクライアントで行う処理が記述されている。

入力画面はファイルの中では、図6のような形式で



図5 ファイルの構成

```

<TR WIDTH="100%">
  <!-- 図7の1行め -->
  <TD COLSPAN="2" ALIGN="CENTER" BGCOLOR="#80fff0">
    依頼試験機器情報
    <INPUT TYPE="hidden" NAME="kiki_search_mode"
      VALUE="<?php print($kiki_search_mode); ?>"
    >
  </TD>
</TR>
<TR>
  <!-- 図7の2行め -->
  <TD ALIGN="RIGHT" NOWRAP BGCOLOR="#80fff0">
    機器番号
  </TD>
  <TD ALIGN="LEFT" WIDTH="100%" BGCOLOR="#ffffff">
    <INPUT TYPE="button" VALUE="検索"
      onClick="search_kiki_by_no(this.form);">
    <INPUT TYPE="TEXT" NAME="kiki_no"
      SIZE="8" MAXLENGTH="6"
      VALUE="<?php printf("%s", $kiki_no); ?>"
      STYLE="ime-mode: 'inactive';"
      onFocus="next_focus('kiki_nm');"
      onChange="next_focus('button_start_date');
        search_kiki_by_no(this.form);">
    <INPUT TYPE="BUTTON" VALUE="管理機器一覧"
      onClick="search_kiki_by_kanri(this.form);">
    <INPUT TYPE="BUTTON" VALUE="機器情報クリア"
      onClick="clear_kiki(this.form);">
  </TD>
</TR>
<TR>
  <!-- 図7の3行め -->
  <TD ALIGN="RIGHT" NOWRAP BGCOLOR="#80fff0">
    機器名称
  </TD>
  <TD ALIGN="LEFT" WIDTH="100%" BGCOLOR="#ffffff">
    <INPUT TYPE="button" VALUE="検索"
      onClick="search_kiki_by_nm(this.form);">
    <INPUT TYPE="TEXT" NAME="kiki_nm"
      SIZE="80" MAXLENGTH="80"
      VALUE="<?php printf("%s", $kiki_nm); ?>"
      STYLE="ime-mode: 'active';"
      onFocus="next_focus('button_start_date');"
      onChange="next_focus('button_start_date');
        search_kiki_by_nm(this.form);">
    <INPUT TYPE="hidden" NAME="shiyotani_kb"
      VALUE="<?php print($shiyotani_kb); ?>"
  </TD>
</TR>

```

図6 入力画面の記述

依頼試験機器情報			
機器番号	検索	管理機器一覧	機器情報クリア
機器名称	検索		

図7 入力画面表示例

記述している。これは、機器の情報を入力する部分(図7)である。

ここでは、画面のレイアウトにはHTMLのTABLEタグを使っている。入力項目は、INPUTタグを使っている。また、あらかじめ値の設定されている項目には、PHPでVALUE属性に値を埋めこんでいる。

```

// 検索画面を呼び出す
function search_kiki(f) {
  var search_page = "search_kiki.php";
  // 引き渡すパラメータの設定
  var search_url = search_page
    + '?onclose=close_search_kiki'
    + '&mode=' + f.kiki_search_mode.value
    + '&kiki_no=' + f.kiki_no.value
    + '&kiki_nm=' + escape(f.kiki_nm.value)
    + '&shokuin_no=' + f.shokuin_no.value;
  // ウィンドウをポップアップ
  var newwin = window.open(search_url,
    "search_kiki_no", winstyle());
  newwin.focus();
}
// 番号で機器を検索する。「機器番号」の[検索]ボタン
function search_kiki_by_no(f) {
  f.kiki_search_mode.value = 'kiki_no';
  search_kiki(f);
}
// 名称で機器を検索する。「機器名称」の[検索]ボタン
function search_kiki_by_nm(f) {
  f.kiki_search_mode.value = 'kiki_nm';
  search_kiki(f);
}
// [管理機器一覧]ボタン
function search_kiki_by_kanri(f) {
  f.kiki_search_mode.value = 'kanri';
  search_kiki(f);
}
// ポップアップウィンドウが閉じられた時の処理
function close_search_kiki() {
  // 利用料金を計算する
  calc_kingaku(document.forms[0]);
}
// [機器情報クリア]ボタン
function clear_kiki(f) {
  f.kiki_no.value = '';
  f.kiki_nm.value = '';
  f.shiyotanka_pr.value = 0;
  calc_kingaku(f);
}

```

図8 JavaScript関数

「検索」などのボタンを押した場合は、onClickイベントを使って、あらかじめ定義しておいたJavaScript関数を呼ぶようにしている。たとえば、機器検索の場合は、図8の関数を呼ぶようになっている。この関数は、JavaScriptの機能を使ってポップアップウィンドウを表示し、その中に検索画面を呼び出している。検索画面を呼び出す際には、入力画面から必要なパラメータを送信し、検索画面においても使用者が一から情報を入力しなくてもよいようにしている。

(B) 登録画面のプログラム

登録画面では、入力画面で設定された項目をパラメータとして受けとり、各項目をチェックして問題なければ、データベースのテーブルに登録するという処理を行っている。

プログラムの構成は図5と同様であるが、処理の大部分はサーバ側での処理なので、ファイルに記述している内容の大部分は、ファイル先頭部のサーバで処理を行うPHPの記述となる。

登録処理で重要なのは、

- 入力されたデータの検証
- データベースへの登録

である。

このため、PHP 記述のうち前半分ほどはデータの検証処理になる。もし、ここでデータの不整合などが見つかれば、それをエラーメッセージとして表示する HTML を生成する。

PHP 記述の後半は、データベースへの登録作業である。ここでは、一連の処理を COMMIT~END のトランザクションブロックとして定義している。これは、データベース登録で何らかの問題が発生してもデータに矛盾を生じさせないために必要である。

依頼試験・機器利用のシステムは、日々直接お客様に関連する処理を行っているため、不具合などが発生することは許されない。このため、この登録処理は細心の注意を払ってプログラミングを行う必要があった。

(3) ユーザインタフェース

業務システムにおいて大切なことは、そのシステムを導入することによって、いかに日々の業務がスムーズに流れるようになるかという点である。つまり、システムが利用者にとって使い勝手がよいか重要である。

このシステムの画面デザインにおいては、データ入力の際には画面の上から下へと順に入力するように設計し、入力項目と関連するボタンなどはその項目の隣に配置するなど、使用者が無駄な動作をしなくても済むような配慮を行った。これにより、直感的な操作が可能となり、操作ミスを減らしたり、使用者が操作にとまどうことができるだけ少なくなるようにした。

また、使用者が入力しやすいように、いわゆる全角文字で入力する項目では IME が有効になり、半角文字の場合は無効になるように、ime-mode スタイルを使っている。また、onFocus や onChange イベントを利用して、ある項目を入力したら、自動的に次に入力すべき項目にフォーカスが当たる(カーソルが移動する)といった細かな配慮も行っている。

さらに、所内で運用している掲示板システムなどを通して寄せられた改良案や要望についても、できるだけ対処するようにした。これは職員がプログラミングや運用に携わっているから可能となったことである。

(4) 他のシステムの構成

ここまで機器利用の予約システムを例にプログラムの内部を解説したが、ほぼ同様の構成で他のシステムもプログラムを記述していった。作成したシステムは、

- 機器利用予約システム

- 依頼試験登録システム
- 施設予約システム
- 共同利用機器予約システム
- 技術研修生登録システム
- 情報検索登録システム

の合計 6 システムである。

6. システムの評価

この業務システムは 2004 年 6 月から運用を開始し、運用開始後約 1 年が経過した。これまでに大規模なシステム障害などもなく、順調に稼働している。一方で小さなトラブルはいくつか発生した。それらは、プログラムのミスや、プログラム作成者が想定していなかった操作による。しかし、この業務システムは、所内で開発を行っているため、それらの不具合についても速やかに対処することができ、不具合が大きなトラブルとなることはなかった。

システムが順調に稼働しているのは、いくつかの要因があげられる。それは以下のとおりである。

- システムの規模が大きすぎない
- 過去のシステムの遺産をうまく受け継いだ
- 開発者もシステムの使用者である

システムの使用者数は研究職員である百数十名程度で、処理する件数も依頼試験が年間 6,000 件程度、機器利用が 8,000 件程度と規模はさほど大きくはない。もし、もっと大規模なシステムであったら、大量のデータを扱うための工夫を凝らしたり、商用のデータベースシステムを導入する必要があったかもしれない。

また、データベースの構造や画面の基本デザインなども過去のシステムから流用することができ、これは開発期間の短縮につながった。

当研究所では、1996 年より業務のオンライン化を行っていた。このため、職員はオンライン処理になれており、今回のシステム導入に関して混乱が発生することはなかった。

さらにこのシステムでは、所内で運用している掲示板などをとおして得られた使用者からの意見を基にシステムの修正を行っている。使用者からの要望に応じて改良した結果、過去のシステムや他のシステムに比べて非常に使いやすくなったという評価を得ている。

7. おわりに

本報告では、まず Web アプリケーションについて説明し、2004 年 6 月より運用を開始した本研究所の業務

システムの特徴を解説した。この業務システムは拡張性や柔軟性に富んだ Web アプリケーションとして実装されており、そのシステムはインターネットで広く用いられているオープンソースを活用して作られている。また、OS やロジック記述などが異なるシステム間でうまく連携をとっている点もその特徴の一つである。

オープンソースを用いた業務システムは、最近ではさほど珍しいものではないが、本研究所のシステムは、その仕様策定からプログラムの作成、そして運用に至るまでその大部分を研究所の職員が行っているという点が大きな特徴である。使用者でもある職員みずからが作成や運用に携わっていることは、トラブルへの対処、システム変更の容易さ、ユーザインタフェースの向上などに非常に役立っている。今後、このシステムの作成および運用などで得られた知見を、さまざまなチャンネルを通して、府内企業へ技術移転を図る予定である。

最後に、本業務システムは、インターネットで公開されているさまざまなオープンソースおよびフリーウ

ェアの存在なしには完成しなかったものであり、それらの開発者とコミュニティに謝意を表します。

参考文献

- 1) 杉原俊介：大阪府立産業技術総合研究所平成 8 年度研究発表会要旨集, (1996) p.90
- 2) Michael Lucas 著, 佐藤広生 監：Absolute BSD ~ FreeBSD システム管理とチューニング, 毎日コミュニケーションズ (2004)
- 3) 石井達夫：改訂第 3 版 PC UNIX ユーザのための PostgreSQL 完全攻略ガイド, 技術評論社 (2001)
- 4) 堀田倫英, 石井達夫, 廣川 類：PHP4 徹底攻略 改訂版, ソフトバンク (2002)
- 5) 中西 隆, 石島 梯：大阪府立産業技術総合研究所平成 8 年度研究発表会要旨集, (1996) p.24
- 6) 堀 一成, 青野繁治, 藤家洋昭, 石島 梯, 脇田由実, 高階美行：情報処理学会第 65 回全国大会, 講演論文集第 5 分冊(2003) p.347
- 7) 堀 一成, 前田 彩, 石島 梯：第 1 回情報科学技術フォーラム (FIT2002), 講演論文集 第 2 分冊 (2002) p.95
- 8) 谷口豊盛：Windows ユーザのための PostgreSQL 導入活用ガイド, 技術評論社 (2002)

クロメート処理に代わる化成処理 — 電解還元法によるクエン酸浴からの モリブデート皮膜の形成 —

Alternatives for Chromate Conversion Coatings — Molybdate Film Deposition by Cathodic Reduction from Citrate Bath —

森河 務* 中出 卓男* 北村 浩司**
Tsutomu Morikawa Takuo Nakade Kouji Kitamura

(2005年6月1日 受理)

キーワード：クロメート皮膜、代替処理、化成処理、モリブデート皮膜、亜鉛めっき

1. はじめに

21世紀のめっき業界を取り巻く環境規制は厳しさを増している。欧州では、酸性雨により廃棄された自動車や家電製品から有害物が溶出して、土壌、地下水を汚染し、これが生態系、ひいては人体に影響を与える懸念が打ち出され、6価クロム、鉛、カドミウム、水銀などの使用禁止が検討されている。

亜鉛めっきのクロメート皮膜中には6価クロムが含まれる。このため、これを利用している自動車部品・家電部品のボルト、ナット、ネジ、シャーシなどの亜鉛めっきクロメート処理品では、脱クロメート化、代替え技術が求められている。EU指令¹⁾は2007年を期限として、6価クロムの使用を禁止するとしているが、切り替えに必要な時間を考慮し、各メーカーでは切替時期を前倒ししている。このような切り替えは、自動車、家電業界が先導して進められているが、いずれ全業界へと広がっていくと考えられる。

これまでに検討された亜鉛めっきのクロメート処理皮膜の代替皮膜としては、下記方法が挙げられる。

- ① 3価クロム単独化成皮膜
- ② 3価クロム化成皮膜+有機または無機コーティン

グ

- ③ 有機または無機コーティング単独皮膜
- ④ 有機または無機コーティングの複合皮膜
- ⑤ クロム酸類似金属塩による化成皮膜(例; タングステン酸塩, ジルコニウム酸塩, モリブデン酸塩など)
- ⑥ クロム酸類似金属塩による化成皮膜+有機または無機コーティング
- ⑦ 有機インヒビター系皮膜

クロメート皮膜代替技術に求められる要件として、①毒性がないこと、②耐食性が良いこと、③低コスト(6価クロムクロメート皮膜と同等あるいはそれ以下)、④各種色調を有すること(光沢、有色、黒色)、⑤皮膜物性(塗装密着性、トルク特性、電導性など)、⑥現行のめっきプロセスラインを大幅に変えることなく導入しうること、が挙げられる。上記のクロメート皮膜代替技術のうち技術的、コスト的に実用の域に達したものは3価クロム化成皮膜をベースとしており、日本では10社あまりの薬品メーカーから3価クロム化成液として販売されている。各自動車メーカーでは、ELV指令²⁾に対して3価クロム化成皮膜で対応する予定になっている。

ここでは、これらの代替技術の内、クロメート皮膜と同様の防食作用を持ち得るモリブデン酸及びタング

* 機械金属部 金属表面処理系

** 元 評価技術部 客員研究員

ステン酸を用いる化成処理皮膜の形成原理と特徴及びモリブデン酸系化成皮膜開発の現状を述べる。さらに、当所で技術開発を行った電解法によるモリブデート皮膜について、その概要を報告する。

2. モリブデン酸系とタングステン酸系化成皮膜の形成原理と特徴

図1に、クロム、モリブデン、タングステンのPourbaix図を示す²⁾。Pourbaix図は各化合物の自由エネルギー変化、酸解離定数、溶解度などにに基づき、pH-電位図においての金属あるいは化合物の安定領域を示している。

水溶液に金属を浸漬すると金属の溶解反応とそれに対応する水素発生や酸素の還元反応などが起こり、電極はある電位を示す。この電位は、平衡電位、自然電位あるいは腐食電位と呼ばれ、その電位を測定することによって、電極表面の状態を予想できる。図中の不活性領域は金属の安定領域を、腐食領域は金属が腐食される領域を、また、不動態領域は酸化物あるいは水酸化物で保護される領域をそれぞれ示している。クロムでは、pHが約6を超えるとCr(OH)₃やCr₂O₃が表面に形成され、これによって金属が保護されることがわかる。同様に金属Moでは、pHが約4~9の領域でMoO₂が存在し、タングステンではpH約4以下の酸性領域でWO₂が形成されて金属が保護されると予想される。詳細なPourbaix図では酸平衡なども含んで計算されているため、これらのpHに対する安定性も推定できる。ただし、Pourbaix図は、錯化剤を含む溶液の電気化学的平衡図ではないことに注意する必要がある。例えば、塩化物イオンを含む溶液中では、Cr³⁺が塩化物と錯イオン形成するため、クロムのCr(OH)₃による不動態領域はpH8~12と狭くなる。

化成皮膜は酸化物と水酸化物の複合皮膜である。クロメート処理では、亜鉛などの金属をクロム酸溶液に浸漬することによって、金属の一部が溶解すると同時に6価クロムからCr³⁺への還元反応が起こり、その結果、水酸化クロムを主成分とする皮膜が金属表面上に沈着する。実際にはこの皮膜には微量のクロム酸、硫酸などのアニオン、溶解した金属イオンが含有される。沈着した皮膜は加温により脱水縮合反応を起してオール結合(Cr-OH-Cr)あるいはオキシ結合(Cr-O-Cr)を有する複合水和酸化物皮膜となり、これが腐食環境から金属素地を保護する。この皮膜の特筆すべき特徴は、皮膜が部分的に傷つき破壊されても皮膜中に含有されるCr⁶⁺の酸化作用によって皮膜が自己修復することにある。このような自己修復作用は、3価クロム単独からなる類似化成皮膜では期待できない。

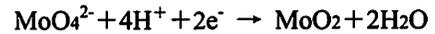
モリブデンやタングステンにおいては、クロムの場合と同様に6価から4価へ還元され、その複合酸化物からなる化成皮膜を生成することができる。これらの化成皮膜では、クロメート皮膜の3価クロムが、それぞれ4価のMoO₂やWO₂などに相当する。

亜鉛をモリブデン酸の水溶液に浸漬する場合には、

①亜鉛の溶出反応



②モリブデン酸の還元反応



が起こり、MoO₂を主成分とする皮膜が亜鉛上に沈着する。形成された皮膜はクロメート皮膜と類似し、モリブデン酸などのアニオンと金属カチオンを微量含んでいる。皮膜中にモリブデン酸が含有されるため、クロメート皮膜と同様に下地金属と反応することが可能となり、この膜の自己修復作用を期待できる。実際に、モリブデン酸は、腐食抑制剤として冷却塔の冷却水等に微量添加されおり³⁻⁵⁾、その優れた防食効果は、素地

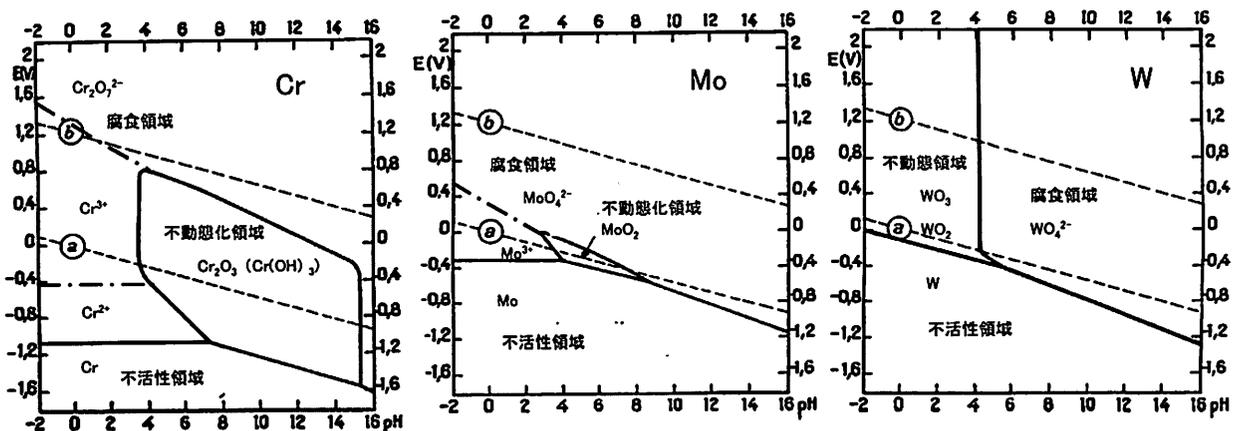


図1 Cr-H₂O系、Mo-H₂O系、W-H₂O系のPourbaix図²⁾

表面上に形成されるモリブデート皮膜に起因すると考えられている。

3. モリブデン酸系化成皮膜開発の現状

モリブデン酸系やタングステン酸系の化成皮膜形成に関する文献はクロメートのそれに比べ少ない。

モリブデン酸を用いる方法(モリブデート処理)としては、クロメート処理の場合と同様に塗布法、浸漬法、電解法がある。塗布法は、モリブデン酸ナトリウムやアンモニウム塩の溶液を塗布し、約 130℃で乾燥して表面にモリブデート膜を形成する方法である。塗布法は素材を選ばないが、乾燥工程が高温であるため化成皮膜の密着性の問題が発生しやすい。このためモリブデン酸を部分還元した溶液を利用する方法が提案されている⁶⁾。この方法は、モリブデン酸溶液に塩化スズ、亜鉛、過酸化水素などの還元剤を添加してモリブデン酸の一部を4価に還元したもので、6価モリブデン/全モリブデンの比率は0.2~0.8である。この溶液を亜鉛めっき鋼板に塗布し、約 130℃で2分程度乾燥する。部分還元した溶液を用いることによってモリブデート膜の密着性が改善されるとともに、耐食性、塗装密着性、塗装後耐食性も改善できる。

浸漬法は、金属との電気化学反応によってモリブデート膜を金属素材上に形成する方法であり、亜鉛⁷⁾、スズ⁷⁾、アルミニウム¹⁰⁾、マグネシウム¹¹⁾、鉄¹²⁻¹⁴⁾など卑な金属を対象としている。浸漬法は、亜鉛めっき工程のクロメート処理と類似しているので連続処理としても有利である。

表1に、処理液とその処理条件の例を示す。亜鉛をモリブデン酸溶液に浸漬すると亜鉛表面にモリブデート膜が形成し、その成長に伴って、黄色、褐色、黒褐色、黒色へと変化する。図2に、浸漬時間による皮膜の重量変化を示す⁹⁾。モリブデート皮膜の形成は、モリブデン酸塩濃度よりも浴温による影響を大きく受ける。その形成速度を速めるため60℃前後の浴温が採用されており、これはクロメート処理温度(室温)に比べると高い。浸漬によって形成されたモリブデート皮膜の化学状態については、XPS測定によって4価と5価の混合物あるいは5価の状態と考えられている⁶⁾。塩水噴霧試験(SST)では、白さびが、24~48時間で発生し、その耐食性はクロメート皮膜に比べると劣る。

モリブデート皮膜では SST で耐食性が充分でなかったことから、リン酸を共析させる方法が開発されている¹⁵⁻¹⁷⁾。この処理法は Molyphos 処理^{15, 16)}と呼ばれ、表1に示した Mo/P の比率の異なる2種類の溶液など

表1 モリブデート処理液と処理条件(浸漬法)

	例1 ⁷⁾	例2 ¹¹⁾	Mo/P比0.33 ⁶⁾	Mo/P比0.66 ⁶⁾
モリブデン酸塩	30g/L	0.5~1M	0.05	0.1
NaF		(0.5M)		
リン酸塩			0.15	0.15
pH	3~5	3	2.1	4.6
温度	60	60	60±5	60±5
処理時間	1~2min	3min	80~130s	100~180s

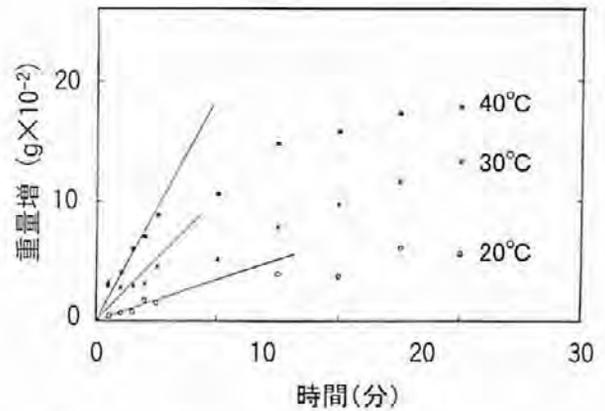


図2 浸漬時間によるモリブデート皮膜の重量変化⁹⁾(モリブデン酸ナトリウム 10g/L, pH5.0)

表2 塩水噴霧試験の結果(白さび及び赤さび発生時間で評価)¹⁶⁾

処理法	白さび発生時間	赤さび発生時間
亜鉛めっきのみ	約2h	360h
有色クロメート	240h	744h以上
Mo/P比0.66処理	24h	696h

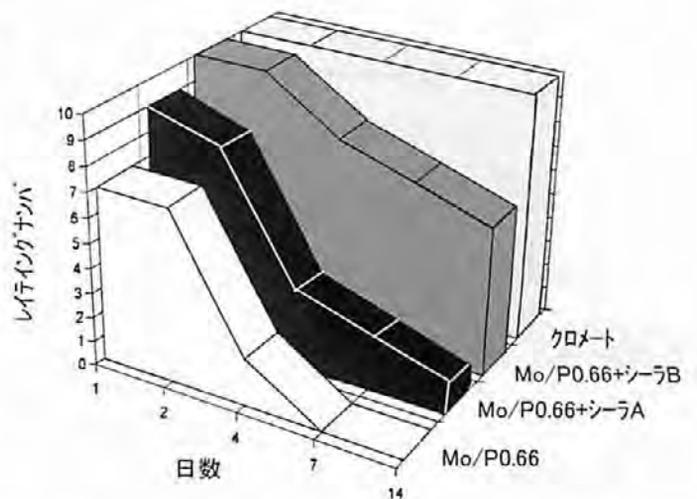


図3 各種処理皮膜の湿潤試験による白さび発生状況¹⁶⁾(シアン浴からの亜鉛めっき上に皮膜形成)

が利用されている。表2に亜鉛めっき銅板の SST の結果を示すが、リン酸による効果は認められるものの、クロメート処理に比べると劣っている。このため耐食性を向上させるために、皮膜上に水希釈型アクリル系シーラーによる耐食性の改善も検討された。図3には、Molyphos 処理後にアクリル系樹脂をコーティングした場合における湿潤試験結果を示すが、その耐食性はクロメート皮膜には及ばない。

モリブデート皮膜が、SST などの耐食性試験で効果を発揮できない理由としては、皮膜の脱水縮合によってクラックが発生しやすいこと、モリブデート皮膜が酸化され生成した MoO_4^{2-} が溶解し、SST のような連続した噴霧試験では洗い流されてしまうことなどが挙げられる。金属の腐食反応で起こる酸素の還元反応は、反応式 $1/2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- = 2\text{OH}^-$ で示され、カソード反応で生じた OH^- によって表面がアルカリ性となることによってもモリブデート皮膜の溶解は促進される。

Pourbaix 図から予想されるように、モリブデートやタングステート皮膜は、中性よりもむしろ酸性環境側で耐食性を発揮できる可能性が高い。亜硫酸ガス腐食試験 (SO_2 25ppm, 40°C, 相対湿度 90%) では、72 時間後の白さび発生のレイティングナンバ評価は、無色クロメートで 2, 黄クロメートで 4~5, Mo/P 比 0.66 処理で 5~6 を示し、この雰囲気ではモリブデート皮膜が優れた耐食性を発揮することが報告されている^{15,16)}。また、乾湿サイクル環境試験では耐食性はクロメートに匹敵すると報告されている。このようなことから、モリブデート皮膜やタングステート皮膜を全ての環境下でのクロメート代替皮膜として利用するのではなく、使用環境に応じて選択する必要がある。

モリブデート皮膜の耐食性を改善するために、Mn, Zn, Mg などの塩やリン酸、硝酸、亜硝酸などの塩とモリブデン酸の混合溶液で処理する方法¹⁸⁾、3価クロム化成皮膜の耐食性改善としてモリブデン酸の活用¹⁹⁾などが検討されている。

4. 電解法によるモリブデート皮膜の形成

電解法は、モリブデン酸溶液中で品物を陰極とすることでモリブデン酸を還元させ、その表面にモリブデート膜を形成する方法である。この方法では、膜厚を電解時間で制御できる。皮膜の色調は、電解時間の経過とともに、次のように変化する。紺(3分間)→薄黄(6分間)→黄(8分間)→青緑(10分間)→黄緑(11分間)→赤紫(15分間)。成膜条件を選べば、クロメート皮膜に似た色調のものも作製できる。なお、電解法は、浸漬法と異なり、亜鉛などの卑な金属上だけでなく、ステンレス、無電解 Ni めっき、アルミニウム上などにも成膜できる。

電解法によるモリブデート皮膜形成については報告^{7,20,21)}が見られるが、その成膜条件、化学状態、生成挙動などについては不明な点が多い。ここでは、著者らが検討しているクエン酸塩浴からの電解還元モリブデート皮膜の形成について紹介する²²⁾。

(1) 電解モリブデート皮膜の成膜条件

電解モリブデート浴は、0.1M モリブデン酸ナトリウム二水和物 ($\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) + 0.1M クエン酸三ナトリウム二水和物 ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) + 0.2M 硫酸ナトリウム (Na_2SO_4) を基本浴組成とした。錯化剤としては、クエン酸塩以外に酒石酸塩、グルコン酸なども

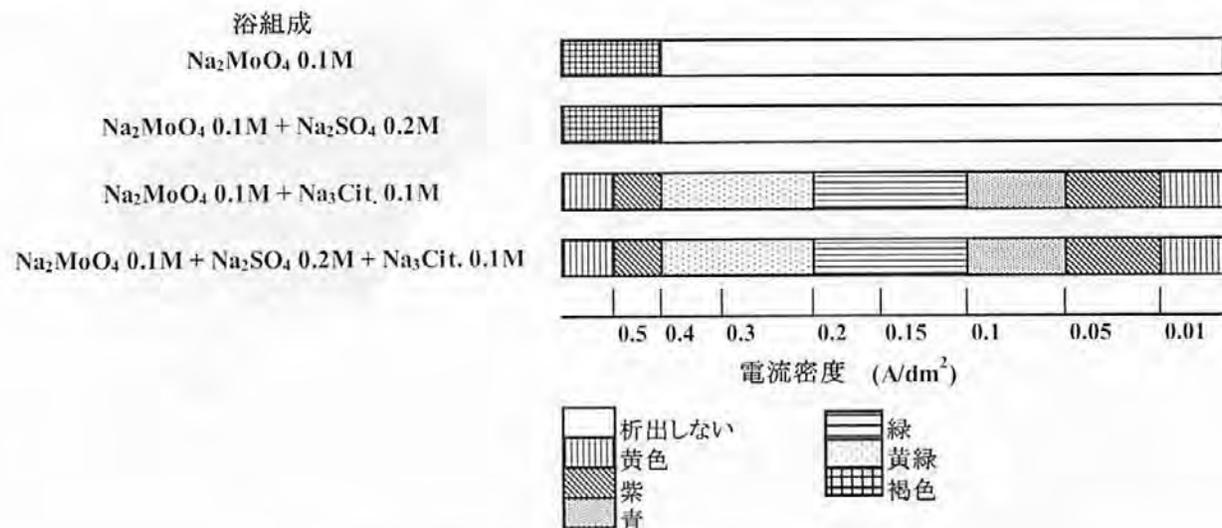


図4 電解モリブデート皮膜のハルセルパターン (pH7, 室温)

利用できる。

電解法で作製したモリブデート皮膜のハルセルパターンを図4に示す。モリブデン酸塩単独溶液からはモリブデート皮膜は形成しない。しかし、クエン酸塩を添加した溶液からは、低電流密度領域において干渉色のあるモリブデート皮膜を形成できた。

pH9以上の浴からは、皮膜の形成は認められない。浴pHが9以下になると干渉色を有する皮膜が現れ、pHが低くなるほど明瞭となる。しかし、pH2以下になると皮膜は不均一な紺色を呈し、液の色調も青色に変色した。

モリブデン酸とクエン酸のモル比による紫外吸収スペクトルの変化を図5に示す。クエン酸を添加することによって約240~300nmの波長領域で吸光度の増大が認められ、吸光度は両者のモル比が1で飽和値に達し、溶液中で1:1錯体(例えば、 $[(MoO_4)(Cit)(H)_x]^{x-5}$)が形成されることを示唆する。

浴温は高いほど皮膜の成長は速く、その色は明瞭なものとなるが、60℃以上になると皮膜は黒色化し、乾燥すると粉末状になって素地から脱離した。

以上の結果から、電解法によるモリブデート皮膜の形成においては、クエン酸などの錯化剤の添加が有効であり、浴pH4~7、浴温30℃、電流密度0.1~0.2A/dm²が最適条件であることがわかった。

(2) モリブデート皮膜の化学状態と構造

Niめっき素地上に形成したモリブデート皮膜のMo3dスペクトルを図6に示す。モリブデート皮膜表面では、MoO₃とMo(V)化合物が形成されている。短時間のAr⁺エッチングを行うと、MoO₂に起因する約229.5eVのピークが主体となり、電解法で形成された皮膜は、MoO₂を主成分としたものであることがわかる。さらにエッチングを行うと金属Moのピークが検出された。これらのことから、Niめっき素地に形成されたモリブデート皮膜は、MoO₂を主体とするものであり、その構造は、素地/薄い金属Mo層/MoO₂を主体とするモリブデート膜/MoO₃(吸着)と推定される。モリブデンは、水溶液から単独では電析せず、鉄族金属イオンと共存する場合にのみ析出する元素と考えられている²³⁾。しかし、Ni、Feなどの鉄族金属を素地電極にした場合には、化成膜と素地の界面で薄い金属Mo層が電析する²¹⁾。これは、電解開始時に鉄族金属の電極触媒性によってモリブデンが金属となって基板に電析し、その後、表面に金属Mo層が形成され鉄族金属の触媒性が失われると、Mo金属として電析できなくなり、中間還元体としてのモリブデート皮膜として成長すると考えられる。このような薄い金属層

の析出とその上の化成膜の形成は、タングステン酸溶液中での鉄族金属のカソード処理²⁴⁾で認められている。

電解還元法から得たモリブデート皮膜上の密着性は良好なものであった。このモリブデート皮膜上に電着塗装した場合にも基盤目テープ法での塗膜剥離は認められず、塗装の良好な密着性を示した。なお、塗装した試料の中性塩水噴霧試験72時間においては、塗膜膨れや赤錆の発生は認められず良好な耐食性を示し、モリブデート皮膜が塗装下地用皮膜として有効であることを確認できた。

モリブデンやタングステンを利用する方法は、最終仕上げの皮膜形成法としてクロメート処理を上回る性

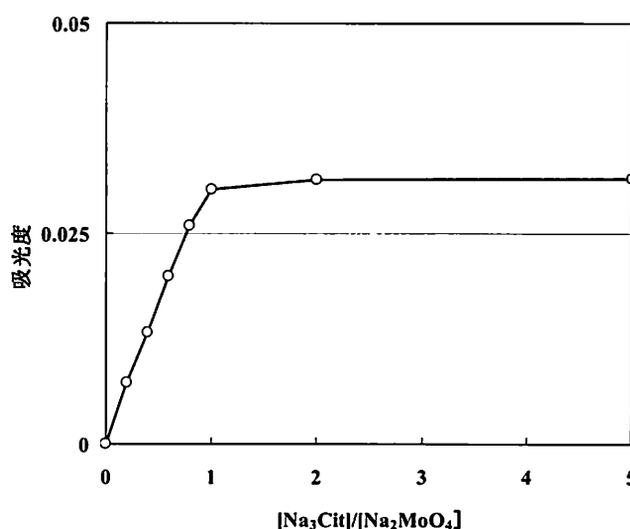


図5 浴中の濃度比 $[Na_3Cit]/[Na_2MoO_4]$ による吸光度変化

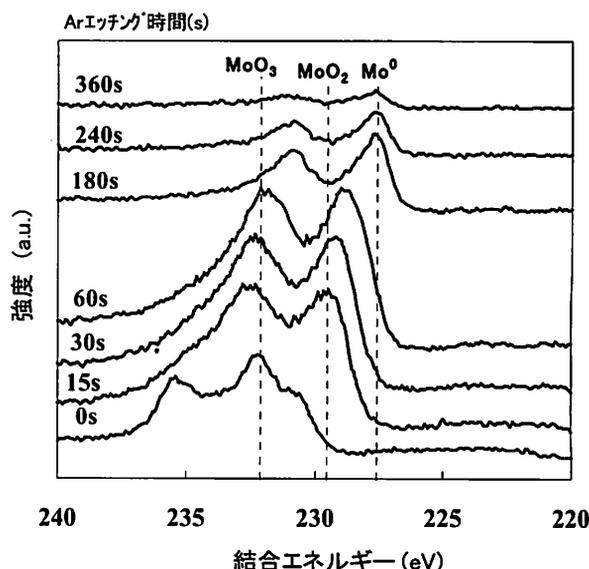


図6 モリブデート皮膜のMo3dスペクトル (下地Niめっき, 0.2A/dm², 30s)

能は見いだせていない。しかし、これらの皮膜は、クロメート皮膜と同様に自己修復作用を期待できること、得られた皮膜がクロメート皮膜と同程度の電気伝導性を有すること、酸性雰囲気的环境下ではクロメート皮膜の代替として利用できること、塗装の密着性改善のための下地処理として利用できることなどの特長がある。これらの皮膜を実用化するには、皮膜の緻密化、厚膜化、他の酸化物との複合化などによる耐食性改善が必要である。

5. まとめ

6価クロムを用いる処理は、半世紀にわたる実績があり、また広く普及しており、性能の面では安心感がある。一方、環境問題を追い風とした3価クロム化成皮膜などの代替技術は、その性能が市場レベルに到達してからの日が浅く、規格すらない状態のまま商品化が進められている。また、実使用条件下での長期耐久性などについては未知な面も抱えている。しかし、代替技術の開発・改良には日進月歩の勢いがあり、将来的に十分対応できる技術に成熟すると思われる。

謝 辞

本内容は、平成 13～15 年度大阪府中核的研究「めっき技術の高度化に関する研究」の一部であり、研究にご協力頂いた関係企業の各位に心より感謝します。

参考文献

- 1) 廃自動車(ELV)指令(2000/53/EC), 廃電気電子機器(WEEE)指令(2002/96/EC), 有害物質使用制限(RoHS)指令(2002/95/EC)
- 2) M. Pourbaix: *Atras of Electrochemical Equilibria in Aqueous Solutions*, Pergamon Press (1974) p.262, p.275, p.282
- 3) E. A. Lizlovs: *Corrosion*, **32** (1976) p. 263
- 4) G. D. Wilcox, D. R. Gabe and M. E. Warwick: *Corrosion Science*, **28** (1988) p.577
- 5) B. R. W. Hinton: *Metal Finishing*, **89**, 9 (1991) p.55
- 6) 吉川幸宏: 特開平 06-146003
- 7) D. R. Gabe, S. E. Gould: *Surface and Coatings Technology*, **35** (1988) p.79
- 8) E. Almeida, T. C. Diamantino, M. O. Figueiredo and C. Sá: *Surface and Coatings Technology*, **106** (1998) p.8
- 9) G. D. Wilcox and D. R. Gabe: *Metal Finishing*, **89**, 9 (1988) p.71
- 10) B. R. W.Hinton: *Metal Finishing*, **89**, 9 (1991) p. 55
- 11) 加藤智也, 尾花 健, 大橋健也: 第 45 回材料と環境討論会要旨集 (1998) p.95
- 12) 黒沢勝登志, 福島敏郎: 日本化学会誌, No.10 (1987) p.1824
- 13) 飯島 弘, 寺坂正二, 鴨田 修: 特公昭 51-002419
- 14) 長沢勝登志, 福島敏郎, 鈴木正敏: 特公昭 57-036348
- 15) P. T. Tang G. B-Nielsen and P. Moller: *Plating and Surface Finish.*, **81**, 11 (1994) p.20
- 16) 鈴木征夫, P. T. Tang, G. B-Nielsen and A. D. Juhl: *防錆管理*, **40** (1996) p.222
- 17) K. Kurosawa and T. Fukushima; *Corrosion Science*, **29**, 9 (1989) p.1103
- 18) 上田耕一郎, 森川茂保, 松野雅典, 中野 忠, 有吉康実, 武津博文: 特開 2002-105659
- 19) 片桐元洋, 伊藤光広, 林 康弘: 特開 2000-054157
- 20) G. D. Wilcox, D. R. Garbe and M. E. Warwick: *Corrosion Science*, **26**, 6 (1987) p.577
- 21) 馬場宣良; 電解法による酸化皮膜, 槇書店 (1996) p.9
- 22) 北村浩司, 森河 務, 横井昌幸, 盛山 浩: **55** (2004) p.42
- 23) A. Brenne: *Electrodeposition of Alloys Vol. 2*, Academic Press (1963) p.413
- 24) 森河 務, 北村浩司, 中出卓男, 横井昌幸, 石田幸平: 第 106 回表面技術協会講演大会要旨集, (2002) p.69

褥瘡予防寝具類の特性

Characteristics of Preventive Bed-Mats against Pressure Ulcer

木村 裕和* 井上 裕美子** 片桐 真子*
Hirokazu Kimura Yumiko Inoue Mako Katagiri

山本 貴則*
Takanori Yamamoto

(2005年6月2日 受理)

キーワード：褥瘡，褥瘡予防寝具，除圧効果，体圧分散性，寝床内気候

1. はじめに

わが国は世界一の長寿国であり、65才以上の高齢人口比率は約20%に達している¹⁾。近年の少子化傾向とも相まって総人口に占める高齢者層の割合は今後とも増加し続けることが予想される²⁾。厚生労働省では今から20年後には何らかの介護を必要とする高齢者が530万人に達し、そのうちの230万人もの人々が寝たきりかそれに近い状態になると推定している³⁾。

したがって、寝たきり状態の高齢者によく発症する褥瘡も深刻な問題として顕在化するものと推察され、注目されつつある。実際、1999年には「褥瘡」に特化した学会が設立され、専門的、学術的な活動が展開されている。さらに、2002年には高齢者介護医療施設などに対して褥瘡対策未実施減算制度が導入されるなど行政レベルでも積極的な取り組みが行われている。

もちろん、これまでも褥瘡予防効果を謳った寝具類が多数開発され、販売されている⁴⁾。しかし、それらの多くは除圧効果のみが強調される傾向が強く、褥瘡予防寝具類の使用、選択基準に関する具体的な指針は示されていない⁵⁾。

そこで、当研究所では褥瘡予防にとって真に必要な特性を明確にし、優れた性能を有する寝具類の提案を

目的に検討を進めている。そして、これまでに代表的な褥瘡予防寝具類を対象に静的荷重を用いた実験や人体（被験者）による計測評価を行ってきた。

本稿では、褥瘡と褥瘡予防寝具類の現状を概説し、人体に加わる応力や寝床内気候について被験者を用いて調べた結果の一部を紹介する。

2. 褥瘡の発症・進行要因と特徴

褥瘡は、一般に「床ずれ」と呼ばれる病態で、局所の持続的圧迫による虚血性の皮膚組織壊死である⁶⁾。したがって、褥瘡の好発部位は皮下毛細血管が閉塞しやすい部位になる。文献により隔たりはあるが、褥瘡は80%程度が仙骨部・尾骨部に集中して発症するとの報告もなされている⁷⁾。その他の発症部位としては肩甲骨部、踵骨部（足・足関節部）、大転子部などが知られている⁸⁾。また、数値的には必ずしも大きくはないが、後頭部や肘部における発症例も報告されている⁹⁾。これらはすべて皮下脂肪が薄く、外力により容易に毛細血管の閉塞が発生する人体部位といえる。

また、褥瘡は寝たきりの高齢者などに多くみられる「起因性褥瘡」と通常は健康な生活者であるが、不慮の事故や疾病などによる入院患者に発症する「偶発性褥瘡」に大別される。ただし、脊髄損傷者などの車椅子生活者の場合には、やや特殊な例として坐骨部褥瘡の発症や再発症例が挙げられている⁹⁾。

* 情報電子部 信頼性・生活科学系

** 元 情報電子部 信頼性・生活科学系

ところで、褥瘡は「介護の恥」と考えられてきたためか施設現場だけで隠蔽される傾向があり、必ずしも積極的な情報発信や情報交換がなされてこなかった¹⁰⁾。しかし、近年、「褥瘡」に対する関心の高まりや「褥瘡予防」の必要性から多くの優れた研究が発表されており、その発症メカニズムや進行のプロセスが次第に明らかにされている¹¹⁾。

永年、褥瘡の発症、進行は「褥瘡＝圧迫×時間」の単純な関係で決まると信じられてきた。そして、褥瘡発症の圧迫限界としてランディによって提唱された皮下毛細血管の内圧が基準とされてきた¹²⁾。その数値は、32mmHgであり、42.1gf/cm²に相当する。

しかし、今ではこの説に対し否定的な見解が多く出され、褥瘡の発症、進行に対する物理的要因としては圧迫、せん断、引っ張りの3種類の応力が指摘され、これらの皮下組織内での作用が重要視されている¹¹⁾。さらに、それに加えて湿潤の程度や圧迫持続時間とその頻度、患者の栄養状態と体力、清潔さなど複数のファクターが挙げられている¹³⁾。そして、褥瘡の発症と進行にはこれらの因子が相互に複雑に影響を与えるとする新しいモデルが提出され、これが定説化しつつある¹⁴⁾。

臨床医学や医療分野からは、褥瘡の種類や程度に応じた治療薬やドレッシング方法、治療材料、介護方法などが研究されており、新しいアセスメントスケールなども議論されている^{15,16)}。一方、褥瘡予防、褥瘡防止の観点からは寝具類を中心に様々な関連器具が開発され、市販されている^{17,18)}。さらに、食生活などの栄養学的な立場からの研究例も多くみられる¹⁹⁾。つまり、最近では、「褥瘡」に対しては医学、介護・ケアなどの医療技術の見地からのみならず、栄養学、医用・福祉工学の立場からの多角的なアプローチが盛んになっており、多様な研究が推進されている。

3. 褥瘡予防寝具類の現状と介護施設における実態調査の一例

褥瘡予防寝具類は、一般に体圧分散マットレスと呼称されている。現在、市販されている体圧分散マットレスは静止型と圧力切り替え型に大別される²⁰⁾。静止型のマットレスには、ウレタン樹脂や天然ゴムあるいは高分子ゲルなどを使用した製品とエアマットがある。一方、圧力切り替え型はエアマットが主流となるが、厚さや性能により汎用タイプと高機能タイプに分類されている²⁰⁾。体圧分散マットレスの販売価格は、最も安価なもので25,000円程度であるが、100,000円前後の

製品が多い。圧力切り替え機能を有する高機能エアマットレスにあっては、約150,000円～300,000円の価格帯となっている。寝具としては決して廉価とはいえない。したがって、褥瘡の種類や程度に応じた適切なマットの選択と正しい使用方法が望まれるが、現在のところ、これらに対する明確な指針は示されていない。

なお、これらの外に、欧州や豪州では褥瘡予防寝具としてのシープスキンの性能も広く認識されており、オーストラリアでは医療用品としての品質が国家規格に定められている²¹⁾。

ところで、大浦武彦らは、1999年に厚生省の長寿科学総合研究事業の一環として、褥瘡と褥瘡治療に関する実態調査を全国規模で行っている²²⁾。調査は全国655例の褥瘡の実態と205施設に対して実施されている。その内容は、褥瘡の有病率、褥瘡患者の身体状況、栄養状態、褥瘡患者の背景、褥瘡の詳細、各施設における治療方針とその実際、看護・介護用具に関する調査であり、調査結果には詳細な分析が加えられている。

この調査から、寝具については205施設のうちの約80%にあたる施設で静止型の体圧分散マットレスが使用されていることが判明している。ウレタン系のマットレスを利用している施設が多いが、静止型のエアマットも約70施設で用いられていた。同時に、これらのマット類の褥瘡予防効果に関するヒヤリング調査の結果、「効果あり」と答えた施設は約60%であったとの報告がなされている²²⁾。この数値は褥瘡予防効果を認めるのに必ずしも十分なものではないと思われる。これも褥瘡リスク保有者に対するマットレスの使用法や選択に係わる具体的な規格、基準類が未確立であることと無関係ではないものと考えられる。これらに対する早急な対応が重要な課題である。

4. 実験方法

(1) 試料

試料には、市販の代表的なエアマット2種類(エアマット α :厚さ160mmおよびエアマット β :厚さ70mm)、ウレタンマット(厚さ160mm)、ウレタン系マット(厚さ110mm)、シープスキン(毛足25mm)を用いた。ただし、エアマット α は圧力切り替え型の高機能タイプマットレスであり、エアマット β は円筒形の独立したエアセルの集合体で構成された汎用マットレスである。また、寝台にはギャッジアップ機能を有する一般的な介護用ベッドを用いた。なお、比較のため寝台に付属されている表面が凹凸状のポリエステルマット(厚さ70mm)をベースマットとして実験に供した。

(2) 試料のセッティング

実験は、寝台の上にベースマットを置き、その上に綿シーツを敷き、試料をその上に重ねてセットして行った。また、シープスキンについては、使用実態を考慮してウレタンマットの上にオーバーレイしたケースについても実験を行った。

(3) 体圧分散性の評価

体圧の測定には、接触圧測定器（エイエムアイ・テクノ社製AMI3037-10）を使用し、受圧部には直径20mmのエアバックを用いた。エアバックは人体の形状に沿って任意に貼付でき、人体と寝具間の応力によって変形する。そして、変形量が圧力として検出される。したがって、得られる結果には、人体局所に加わる圧迫力、せん断力、引っ張り力などすべての応力情報が含まれることになる。

なお、本実験では各試料から得られるデータを相対的に比較するために、被験者を成人男性1名に限定した。選定した被験者は身長170cm、体重60kgf、年齢45歳の平均的体格を有する健常者である。

体圧測定は被験者の背中部ならびに突起部で行った。図1に背中部および仙骨部に対するエアバックの貼付位置を示した。図に示すように背中部については背骨を中心にした左右8ヶ所で接触圧を測定した。一方、人体の突起部として、左右の肩甲骨、両肘裏、仙骨部と仙骨周辺部および両踵骨部を選択し、各部位からデータを採取した。なお、背中、肩甲骨、肘裏、仙骨周辺および踵骨部については、左右のデータの平均値を測定結果として求めた。また、仙骨周辺部とは仙骨の左右であり、貼付したエアバックの中心と仙骨部に貼付したエアバックの中心間距離は約25mmとした。

(4) 寝床内気候の測定



図1 背中部および仙骨部のエアバック貼付位置

寝床内気候は、温湿度センサー（神栄社製TRH-DM2）を用いて調べた。上と同じ被験者に所定の寝衣（綿100%）を着用させ、仰臥姿勢で試料寝具類に着床させた後、所定の掛け布団（ポリエステル中綿100%）を被せ、寝床内の温湿度変化を1時間にわたり計測した。計測中は、被験者には静止状態を維持させた。温湿度の測定部位は試料と掛け布団間の大腿部間および寝衣内の右腋下とした。試料寝具としてはエアマット β 、ウレタンマット、シープスキンを選択したが、市販のウール製敷パッドを比較試料として追加した。なお、所定の寝衣および掛け布団とは、高齢者介護施設などで一般的に利用されているものである。

ただし、体圧分散性の評価および寝床内気候の測定は温度 $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50 \pm 5\% \text{RH}$ の実験室内で行った。

5. 結果と考察

図2に背中部から得られた体圧測定の結果を示した。図の破線は皮下毛細血管の内圧（32mmHg）¹⁹⁾に相当する圧力を示している。背中①～④全体をみれば、各寝具に加わる体圧は、最大値でも $40 \text{gf}/\text{cm}^2$ を少し超える程度である。仮に、褥瘡の発症の圧力限界を $42.1 \text{gf}/\text{cm}^2$ とすれば²⁰⁾、これと同程度である。0.7～3.0%程度の発症率が報告されている肩甲骨部（背中①）⁶⁾においても毛細血管の閉塞が発生するほどの圧力は検出されていない。むしろ背中②の方が①に比べ、全ての試料で接触圧が高くなっている。②は背中側の肋骨があたる部位であるため、接触圧が高くなったものと思われる。また、エアマット α 、エアマット β およびベースマットの値がやや高くなっている。背中①では最も圧力の低かったエアマット β も高い接触圧を示している。背中③も②と同様の傾向である。背中④からは、全体的に低い数値が計測されている。この部位は腎臓の背面に相当し、柔軟な部位である。そのために圧力が低くなったものと推察されるが、ここでも意外にエアマットの圧力が高い。これは使用したエアマットが圧力変動型マットレス（エアマット α ）と複数の円筒状エアセルから構成されたタイプ（エアマット β ）であったため、エアマット表面と人体との接触状態が複雑に変化し、比較的高い圧力が記録されたものと考えられる。いずれにしても、寝具類が肩甲骨を含めた背中各部に与える圧力は、あまり大きくない。これは、背中に対する褥瘡の発症例が比較的小さいことを支持する結果であるといえる。

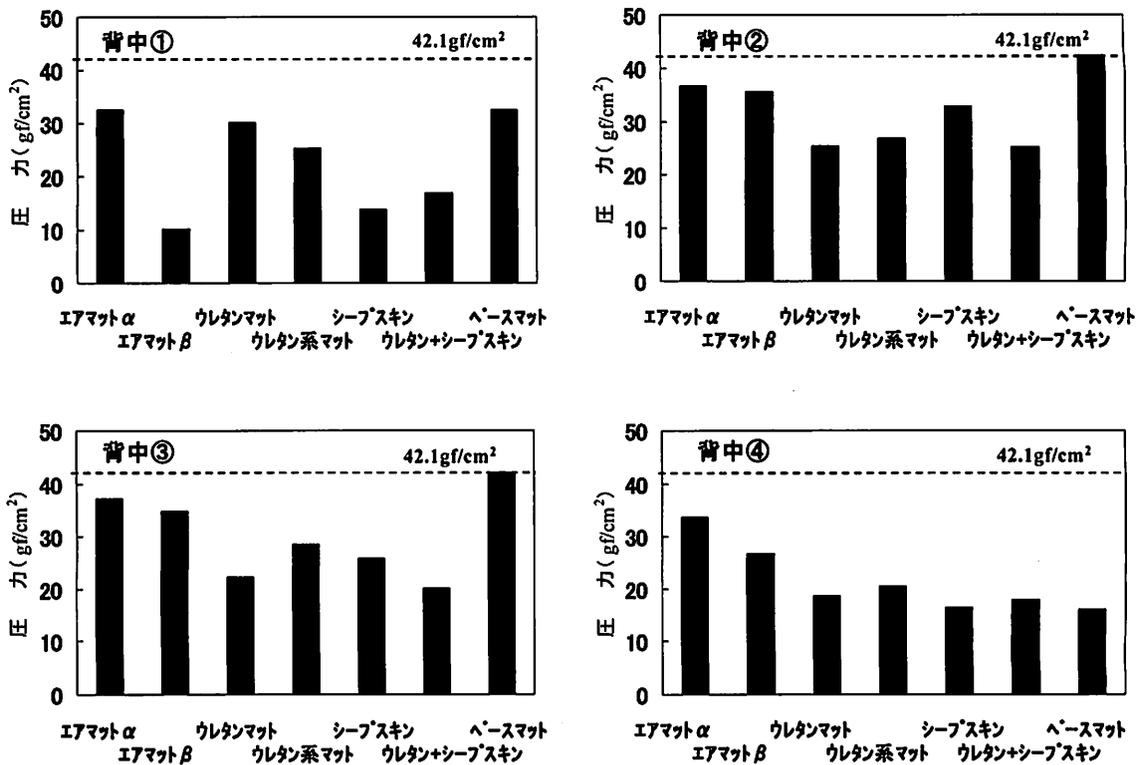


図2 人体の背中部から得られた接触圧

一方、図3には、肩甲骨、肘、踵、仙骨および仙骨周辺から得られた接触圧のデータを示した。本来、このグラフは各データを結線すべき性質のものではないが、人体の各部位から得られる接触圧の傾向を明瞭にするために折れ線で表示した。肩甲骨を除けば図3に示した背中から記録された圧力と比べ、大きな数値が示されている。特に、仙骨部は100gf/cm²を超えるものがある。この数値は、褥瘡の発症が疑われる圧力の約2.5倍であり²²⁾、皮下毛細血管を圧迫し、血流阻害から皮膚壊死を引き起こすリスクが高い。さらに、褥瘡の頻発部位である仙骨および仙骨周辺のデータをみると、シープスキンの接触圧が高いことがわかる。この試料は他の寝具類に比べれば非常に薄いものである。被験者の感覚、官能からも「底着き感」があったと報告された。しかし、図に示したようにウレタンマットの上にシープスキンを重ねた場合、接触圧は著しく低下している。仙骨部でも約40gf/cm²であり、褥瘡予防効果の期待できるレベルである。したがって、シープスキンは、それ単独では除圧効果を謳うことは困難であるが、静止型の体圧分散マットレスと併用すれば、一定の評価が下せるものと考えられる。さらに、肘裏および仙骨部において試料間の差が大きくなっていることがわかる。ここで、身体各部位における圧力差が小さい寝具類、すなわち均一な圧力が体表面全体にかか

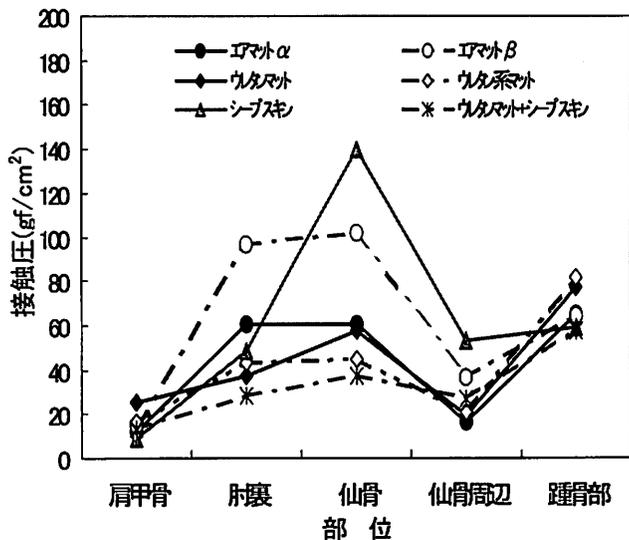


図3 人体の突起部位から得られた体圧

っているほど体圧をうまく分散できていると考えれば、エアマットα、ウレタンマット、ウレタン系マット、ウレタンマットとシープスキン併用の4サンプルが体圧分散性に優れているといえる。次に、寝床内気候の測定結果について述べる。寝床内気候については、すでに複数の研究例があり、快適な寝床内温度は33±1℃で、相対湿度が50±5%RHであることが広く知られている^{24,25)}。図4および図5に寝床内の温度変化と相

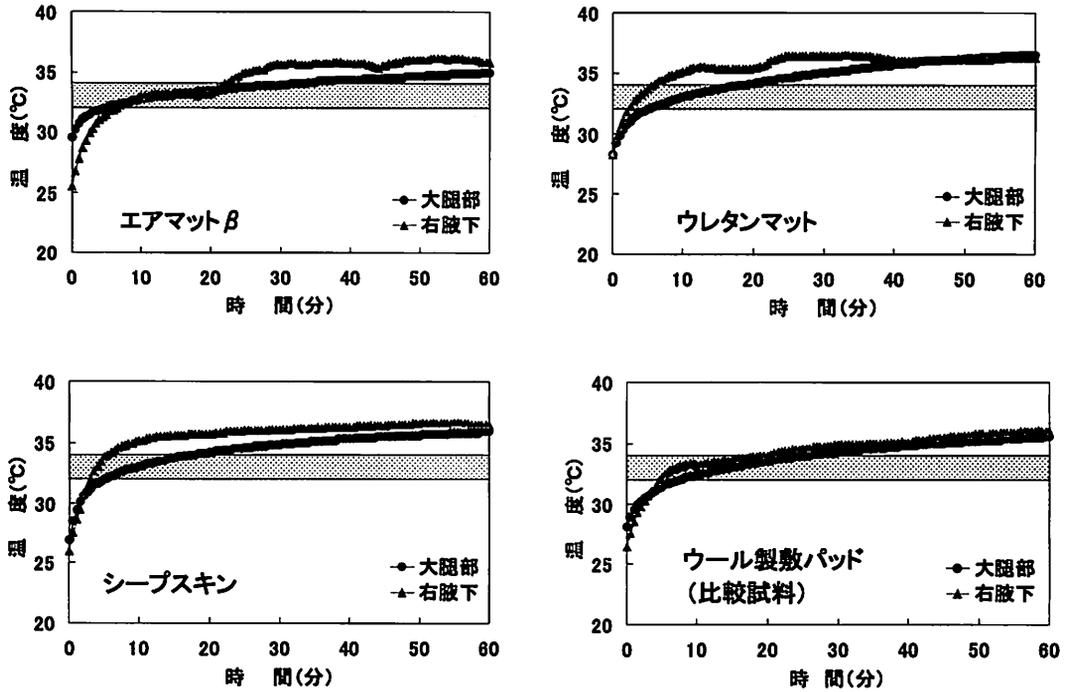


図4 寝床内の温度変化

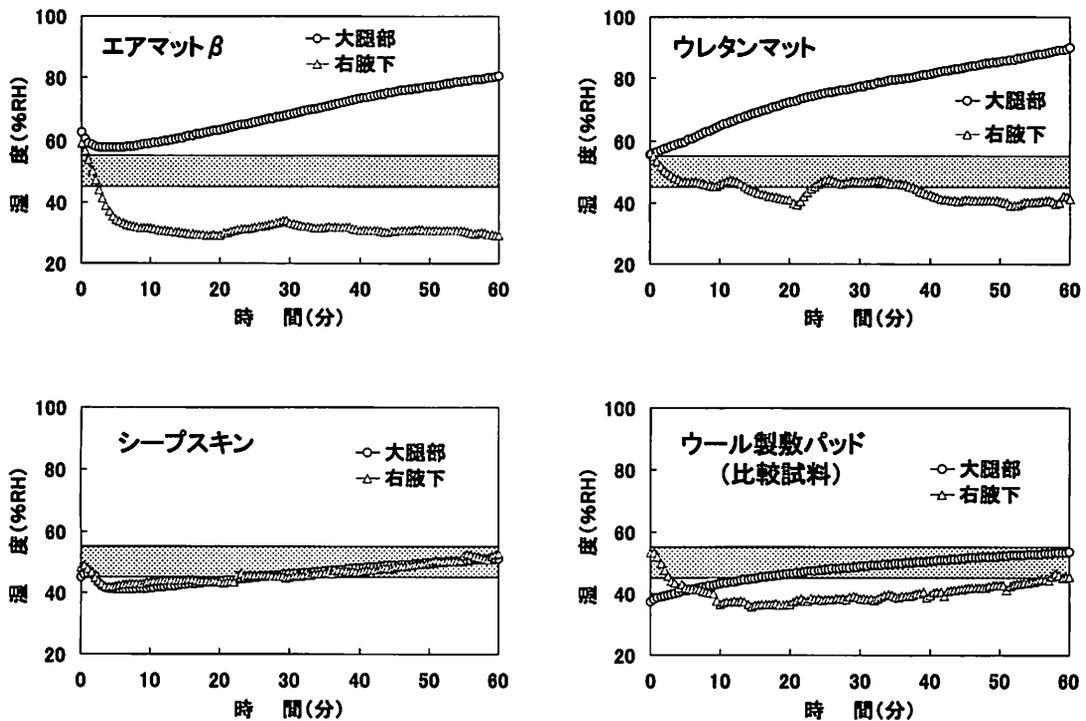


図5 寝床内の相対湿度変化

対湿度の変化を示したが、図中に網掛けで示した部分が人が快適と感じる温湿度領域に相当する。

エアマットの結果をみると、温度は着床後の10分間程度で大腿部間および右腋下ともに急激に上昇している。その後、温度上昇は緩やかになり、1時間後には

35℃程度になっている。一方、図5に示したように相対湿度は大腿部間で上昇を続け、1時間後には82%RHにも達し、かなりの高湿度状態になっていることがわかる。逆に、右腋下では、初期に湿度は低下する傾向が認められた。ウレタンマットの温湿度変化もエアマ

ットに類似している。この試料においても、大腿部間における湿度の上昇が激しく、1時間後には90%RHを超え、かなりの高湿度状態であることがわかった。被験者の官能からも蒸し暑く、不快感が示された。次に、シープスキンの結果をみると温度変化に関してはエアマットおよびウレタンマットと同傾向であるが、相対湿度の上昇、変化はほとんど認められない。ほぼ一定の湿度を示しており、快適な湿度環境が維持されている。確認のため実施した比較試料のウール製敷パッドによる実験からも、シープスキン試料と同様の結果が得られている。したがって、これはウールが有する優れた吸湿性によるものと考えられる。褥瘡の進行要因の一つに皮膚湿潤の程度が指摘されており、寝床内湿度の制御の観点からは羊毛系の寝具類の活用が有効であるものと考えられる。

6. まとめ

本報告では、褥瘡および褥瘡予防寝具類の現状について述べるとともに市販されている代表的な褥瘡予防寝具類の特性について被験者を用いて行った実験結果の一部を紹介した。

被験者による検討から以下のことがわかった。

- (1) 人体背中部ならびに人体の突起部で接触圧を測定した結果、背中に寝具から加わる圧力は小さく、最大値でも40gf/cm²を少し超える程度であった。一方、褥瘡の好発部位である仙骨や踵骨部からは皮下毛細血管の閉塞を生じさせ得る程度の接触圧が検出されるケースがあった。
- (2) 寝床内気候を調べた結果、寝床内温度については試料間による大差は認められなかった。しかし、湿度の挙動は異なり、エアマットやウレタンマットでは80~90%RHにまで達したが、シープスキンにおいては湿度の上昇はほとんど認められず、快適な湿度環境が保持されることがわかった。

謝 辞

本報告の一部には、平成16年に実施した受託研究

「ウール製床ずれ予防パッドの性能に関する研究」で行った実験結果を引用した。発表を快くご承諾くださいました依頼社の辻寛敷物(株)ならびに実験用資材および実験試料のご提供を賜りました(株)ウィズの関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 泉加代子：繊維機械学会誌, 55, 4 (2002) p.141
- 2) 梁瀬度子：繊維機械学会誌, 51, 10 (1998) p.549
- 3) 例えば, 総務庁編：高齢社会白書(平成10年度版), 大蔵省印刷局 (1998) p.59
- 4) 例えば, 大井隆志：繊維機械学会誌, 54, 4 (2001) p.149
- 5) 岩國 治, 吉永健太郎：日本褥瘡学会誌, 6, 2 (2004) p.111
- 6) 石川 治, 実地医家のための褥瘡ケアハンドブック, 宮地良樹編, 医薬ジャーナル社 (2001) p.6
- 7) 池田雄一, 伊藤康裕, 伊部昌樹, 飯塚 一：日本褥瘡学会誌, 6, 4 (2004) p.582
- 8) 石川 治, 実地医家のための褥瘡ケアハンドブック, 宮地良樹編, 医薬ジャーナル社 (2001) p.7
- 9) 木村 中, 舟山恵美：日本褥瘡学会誌, 6, 4 (2004) p.616
- 10) 大浦武彦：褥瘡のトータルケア, メディカルトリビューン社 (2003) p.11
- 11) 高橋 誠：日本褥瘡学会誌, 6, 3 (2004) p.276
- 12) 大浦武彦：褥瘡のトータルケア, メディカルトリビューン社 (2003) p.16
- 13) 林 泰史：Geriatric Medicine, 34, 8 (1996) p.1007
- 14) 大浦武彦：褥瘡のトータルケア, メディカルトリビューン社 (2003) p.14
- 15) 深井孝郎, 中田正幸, 今井サチ子, 武田 啓：日本褥瘡学会誌, 6, 1 (2004) p.81
- 16) 藤岡正樹, 浜田裕一：日本褥瘡学会誌, 6, 1 (2004) p.68
- 17) 市川 洵：福祉用具特選カタログはるうらら館, 2, 丸紅株式会社機能アパレル部 (2005)
- 18) 例えば, ウィズベストケア福祉用具総合カタログ, 株式会社ウィズ, 4 (2004)
- 19) 足立香代子：日本褥瘡学会誌, 5, 2 (2003) p.264
- 20) 大浦武彦：褥瘡のトータルケア, メディカルトリビューン社 (2003) p.33
- 21) Australian Standard TM: AS 4480.1 (1998)
- 22) 大浦武彦：日本褥瘡学会誌, 1, 2 (1999) p.201
- 23) 大山知樹, 西本 聡, 武田匡弘, 對川智絵, 清水史明, 鎌田直子：日本褥瘡学会誌, 6, 1 (2004) p.35
- 24) 繊維学会編：繊維便覧第2版, 丸善 (1994) p.596
- 25) 鳥居鎮夫：シリーズ<脳の科学>睡眠の科学, 朝倉書店 (1996) p.120

振動試験における非線形応答現象

Nonlinear Response Phenomena on Vibration Testing

中嶋 隆勝* 津田 和城*
Takamasa Nakajima Kazuki Tsuda

(2005年7月6日 受理)

キーワード：振動試験、非線形、包装貨物、自動車部品、鉄道車両部品、破損

1. はじめに

振動試験は、あらゆる製造業で必要な試験であり、振動が原因となる製品や部品の破損事故、あるいは動作不良事故などを未然に防ぐことを目的としている。たとえば、原子力発電所で用いられる部品が破損すれば大惨事を引き起こす危険性がある。また、医薬品のラベルが輸送中の振動で擦れるだけで医療過誤の原因となりかねない。その他、一見ささいな不具合でも、被害を受ける立場からすると大きな問題であり、それが続けば、製造者の信頼が失われ、経営上大きな損失につながる。このように、振動試験は製造者にとって非常に重要な試験であり、試験結果は、製品や部品が現実に受ける振動環境での耐久性を正確に反映する（以下、実地での再現性と表現する）ものでなければならない。

しかし、著者らは、これまで多くの企業より依頼を受けて振動試験を行ってきたが、現在の規格に従った振動試験を行っても、実地での振動が十分正確に再現されない事例を多く経験している。そして、その原因のひとつとして、製品や部品への振動伝達の非線形性が振動試験の基礎となる理論に考慮されていない点が考えられる。そこで、非線形現象の一例として、ガタを含む包装貨物の振動応答解析を行い、振動試験が実地での振動耐久性を再現できない現象が存在することを示した¹⁾。ここでは、まず、振動試験方法の概略および問題点について説明し、次に、非線形振動応答の具

体例を紹介する。最後に、ガタを含む包装貨物の数値解析結果を示し、問題となる現象の存在について記述する。

2. 振動試験方法

(1) 規格の種類

振動試験方法が規定されている JIS について抜粋し、その試験対象ごとに分類したものを表 1 にまとめる。分類 A は、包装貨物を対象とした試験であり、輸送中に生じる振動による内容物（製品）の損傷の可能性を確認できる。分類 B は、使用中に振動を受ける製品あるいは部品を対象とした試験であり、使用中に生じる振動による製品（部品）の破損、あるいは動作不良の可能性が確認される。使用中の振動の例としては、自動車や鉄道車両など、移動体に発生する振動、あるいは発電所、プラント、工場などでの稼働中に発生する振動などがある。分類 C は、地震による破損、動作不良、転倒などを確認する試験であり、通常、厳しい振動を受けることはないが、地震動が発生すれば、大きな被害を招くおそれのある設備や製品を試験の対象としている。

(2) 振動耐久性評価試験方法

表 1 で分類 A および分類 B に分類された試験は、供試品（部品、製品、あるいは包装貨物）が使用中や輸送中、長時間にわたって受け続ける振動を、短時間の振動試験で置き換える試験方法である。したがって、入力振動の加速度は、現実の振動加速度よりも高いレベルに設定され、試験時間の算定には S-N 曲線（疲労

* 情報電子部 信頼性・生活科学系

表1 振動試験方法が規定されている JIS 規格

分類	規格番号	規格名称
A	JIS Z 0232:2004	包装貨物 — 振動試験方法
B	JIS D 1601:1995	自動車部品振動試験方法
	JIS E 3014:1999	鉄道信号保安部品 — 振動試験方法
	JIS E 4031:1994	鉄道車両部品 — 振動試験方法
	JIS C 60068-2-6:1999 (JIS C 0040:1999)	環境試験方法 — 電気・電子 — 正弦波振動試験方法
	JIS C 60068-2-64:1997 (JIS C 0036:1997)	環境試験方法 — 電気・電子 — 広帯域ランダム振動試験方法及び指針
C	JIS S 1018:1995	家具の振動試験方法
	JIS C 60068-3-3:2000 (JIS C 0055:2000)	環境試験方法 — 電気・電子 — 機器の耐震試験方法の指針
	JIS C 60068-2-57:2002 (JIS C 0057:2002)	環境試験方法 — 電気・電子 — 時刻歴振動試験方法
	JIS C 60068-2-59:2001 (JIS C 0056:2001)	環境試験方法 — 電気・電子 — サインビート振動試験方法

特性を表す曲線) が用いられる^{2,3)}。一方、分類 C の試験では、地震が想定されているため、地震波を再現するのにさほど時間を必要とされない。そのため、これらの試験では、S-N 曲線による振動時間の短縮は行われず、想定される振動がそのまま用いられる。

すべての振動試験に共通して、振動試験は供試品が使用中や輸送中、地震などで受ける振動に対して十分な耐久性を有しているかを確認する試験であるといえる。そのため、試験結果の信頼性を高めるためには、供試品の実地での振動の予測精度を高める必要があり、供試品が受ける振動を事前に調査した上で、試験条件が決定されなければならない。たとえば、ある部品が工場間輸送される場合、まず、輸送経路に関する路面状態および距離、使用するトラックの種類(リーフ型、エアサスペンション型)などのデータから部品が受ける振動を推定する。次に、可能性のあるあらゆる振動を想定して十分な安全性が確保される試験条件を決定する。最後に、振動耐久性試験を実施し、部品が十分に安全に工場間輸送されるよう輸送形態の見直しや部品強度の改良などを行う。ただし、無意味に厳しい試験条件を決定すれば、過剰品質となり余分なコストが必要となる。逆に、実地よりも低いレベルの試験条件が決定されると、輸送中の破損事故を引き起こす原因となる。このように、振動耐久性評価を行う上で実地での再現性は非常に重要な項目であり、実地での振動を

十分に調査して、試験条件が決定されなければならない。実地での振動レベルの調査は、非常に時間と労力が必要な作業であるが、積極的に取り組むべき課題である。

3. 振動試験における問題点

振動試験を行う目的の多くは供試品の振動耐久性評価であり、その実地再現性を確保するためには、供試品が受ける振動を十分に把握しておき、それに適した試験条件を決定する必要があることは、前章で述べたとおりである。しかし、もっと大きく試験の信頼性を損ねる問題が存在する。それは、振動伝達の非線形性である。特に、表1で分類した分類 A および分類 B の試験では、S-N 曲線を用いた試験時間の短縮が行われるが、これは、入力振動と応答振動の関係に線形性が存在するという前提で成立する方法である。しかし、現在の耐久性評価試験は、それらの前提について十分な検討がなされないまま行われており、ガタを有する場合の衝突振動や、非線形材料や幾何学的大変形を伴う振動については、正しい評価がくだされているとは言い難い状況である。5章で紹介する限界入力加速度を超える振動が加われば、線形応答の場合と比較して10倍以上の厳しさの振動が製品や製品内部へ伝わる。たとえば、実地での振動レベルが限界入力加速度を超

えることがないにもかかわらず、試験条件が限界入力加速度を超えるレベルに設定されていれば、実地の10倍以上の厳しい振動が供試品に加えられることになる。その結果、出荷するためには試験への合格が義務付けられており、改良のため多大なコストが必要となる。

4. 振動応答現象の計測事例

これまでに振動試験で計測した非線形振動応答現象を紹介する。まず、これまで、線形振動理論で一般的に広く紹介されている振動応答の代表事例を取り上げた後、非線形振動の事例を取り上げる。後者の事例は、ともにすべての入力振動に対して現れる現象ではないため、耐久性評価結果の実地再現性が妨げられることになる。

(1) 線形応答現象

振動台上に、ロッカー（以下、製品Aと称す）を固定し、振動台を水平方向に振動数10Hz、最大加速度 4m/s^2 の正弦波で加振したときに、振動台および製品A上の天部に生じる振動加速度を加速度センサーにより計測する。計測結果を図1に示す。図より、入力、応答ともに波形が理想的な正弦波であり、かつ、入力と同じ振動数(10Hz)の振動が応答として計測されている。これらは、ほぼ理想的な線形応答現象の特徴であり、入力振動と応答振動の関係に線形性が存在することが期待される。しかし、現実には、すべての入力振動についてこのような応答が現れるわけではなく、同製品の同部位に異なる振動を入力した結果、次節で示す非線形応答現象Iが計測された。

(2) 非線形応答現象I（複雑な形状の応答波）

前節(1)と同様にして、製品A天部の水平方向正弦波振動(4Hz, 4m/s^2)に対する応答を計測する。計測結果を図2に示す。図より、入力振動がほぼ正弦波であるのに対して、応答振動は非常に複雑な波形となっており、明らかに非線形応答現象であることがわかる。すなわち、入力振動と応答振動の間に線形性は存在せず、入力振動の加速度レベルを2倍にしても、応答振動の加速度レベルは2倍とならず、誤った耐久性評価が行われる可能性がある。

(3) 非線形応答現象II（異なる振動数の応答波）

同様にして、別の製品(ディスプレイであり、以下、製品Bと称す)リアカバー部の水平方向正弦波振動(10Hz, 16.5m/s^2)に対する応答を計測する。計測結果を図3に示す。図より、入力振動がほぼ10Hzの単一振動数の正弦波であるのに対して、応答振動には約100Hzの強い振動数成分が含まれている。線形振動理

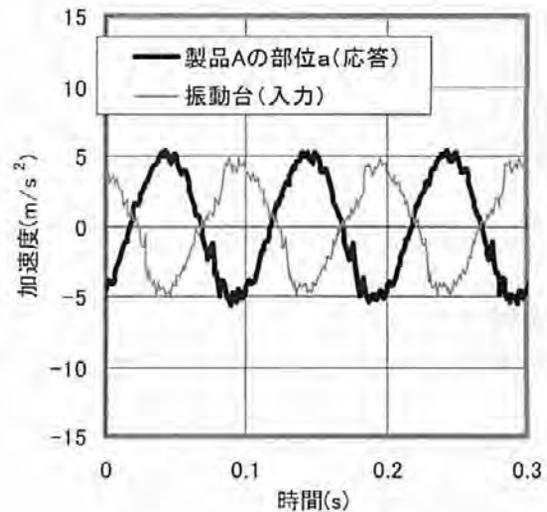


図1 線形振動応答の事例
(入力振動：10Hz, 4m/s^2)

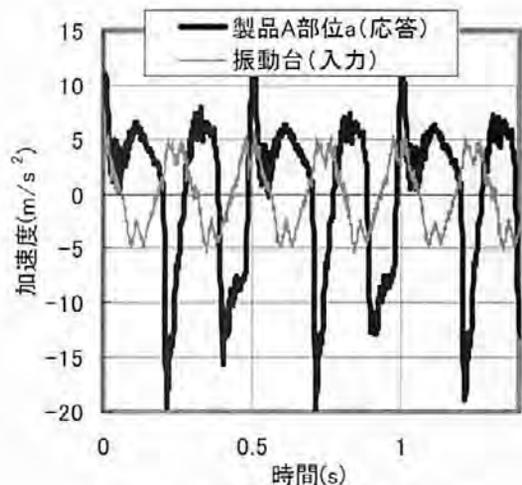


図2 非線形振動応答現象の事例I
(入力：4Hz, 4m/s^2 , 正弦波振動)

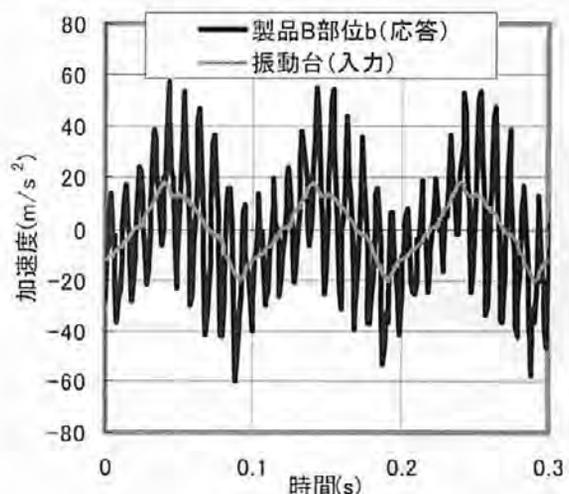


図3 非線形振動応答現象の計測事例II
(入力：10Hz, 16.5m/s^2 , 正弦波振動)

論では、入力振動数以外の成分が応答振動に現れることはあらず、この現象も非線形応答現象であるといえる。蓄積疲労評価において、荷重の繰り返し回数は重要であり、この現象が耐久性評価を行う上で問題となることは言うまでもない。

5. ガタの非線形応答数値解析

(1) 包装貨物のモデル化および解析方法

包装貨物内の製品（内容品）と緩衝材の間にガタが存在する場合の包装貨物外部から加わる振動に対する内容品の振動応答の解析を行うために、図4に示す包装貨物のモデルを作成し、以下の仮定を設定する。容器および内容品は剛体であり、外力により容器の内寸法及び内容品の外寸法は変化せず、容器および緩衝材の質量は無視できるものとする。また、緩衝材は線形ばねとし、緩衝材と内容品は連結されていないため、緩衝材に圧縮方向の力は作用するが、引っ張り方向の力は作用しない。さらに、容器は振動台に固定されており、入力振動がそのまま伝搬される。ガタの大きさは、容器内寸法から、内容品外寸法および二つの緩衝材の自然長を足し合わせた分の差と定義した。したがって、厳密に言えば、ガタの大きさが0の場合にも、内容品の自重による下側緩衝材の変形量分の隙間は存在することになる。

各緩衝材の自然長は50mm、ばね定数は122.5kN/mとし、内容品の質量は10kgとする。この仕様（緩衝材の自然長およびばね定数）は、包装貨物の落下高さを1m、緩衝材の最大ひずみを0.8、内容品の許容加速度を490m/s²に設定したときの緩衝包装設計手法⁴⁾により導出した設計寸法であり、ある程度、現実的な値に設定されている。その結果、ガタを考慮しない系の固有振動数は17.6Hzとなる。

数値解析には、数値積分法のひとつであるヴェルレ法を用い、時間ステップは0.1msとし、加振後、500s経過するまでの包装貨物の振動について数値計算を行う¹⁾。

(2) 数値解析結果および考察

(A) 限界入力加速度

加速度伝達率を最大応答加速度の最大入力加速度（以下、入力加速度と略す）に対する比と定義し、入力加速度が加速度伝達率に及ぼす影響について数値解析を用いて検討する。入力振動の振動数を5Hz、25Hz、50Hzの三種類に設定し、それぞれの入力加速度と加速度伝達率の関係を表した数値解析結果を図5に示す。図5(a)および(b)より、入力加速度があるしきい値

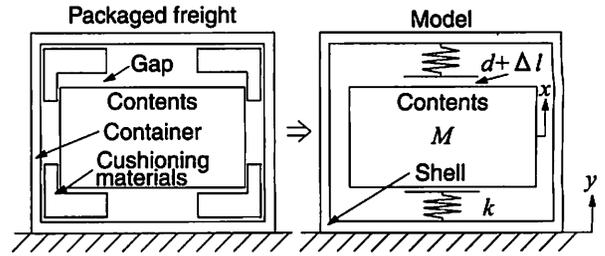


図4 包装貨物の数値解析モデル

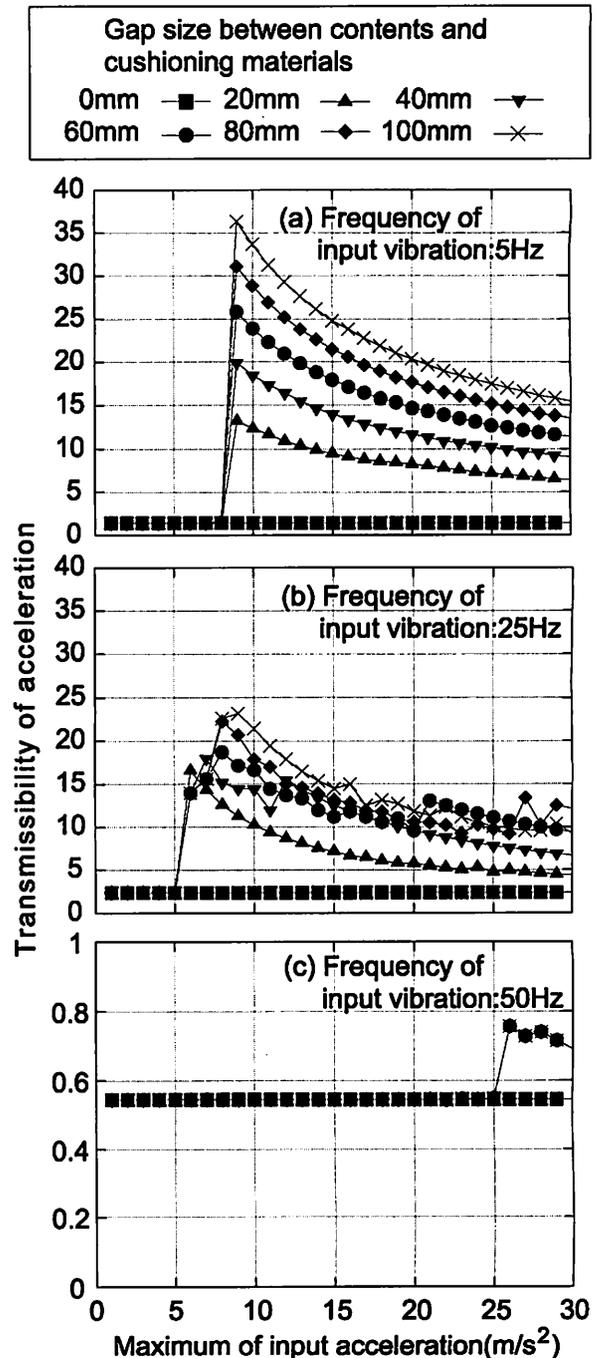


図5 入力加速度と伝達率の関係
(限界入力加速度が存在)

((a)では約 $8m/s^2$ であり, (b)では約 $5m/s^2$ である)を超えると, 加速度伝達率が非連続的に増加し, 内容品が激しく振動することがわかる(以下, このしきい値を限界入力加速度と呼ぶことにする)。一方, 図5(c)では, $30m/s^2$ の加速度の振動を加えても, 加速度伝達率が1を超えることはなく, 実用上, 限界入力加速度は存在しないとみなすことができる。この限界入力加速度は, 包装貨物内のガタだけの問題ではなく, ガタを有するあらゆる製品についても十分に起こりうる現象であることは容易に推測できる。

限界入力加速度による伝達率の急激な変化は, 包装貨物だけでなく, あらゆる製品の振動耐久性評価を行う上で, 十分に考慮されていなければならない問題であるが, 現在の振動試験方法では全く考慮されていない。3章でも述べたように, 実地での振動レベルが限界入力加速度よりも低いのに, 評価試験の振動レベルが限界入力加速度よりも高ければ, 厳しすぎる試験条件であり, 試験に合格するために必要以上の多大なコストが費やされることになる。また, これとは逆に, 実地において非常に短時間でも限界入力加速度を超える振動が生じる可能性があるのに, 評価試験で限界入力加速度よりも低いレベルの振動しか加えない場合, 評価試験には合格しても, 製品の破損事故が発生し, 場合によっては, 人命に関わるような大事故につながる可能性もある。

著者らは, 限界入力加速度によって試験評価の精度・信頼性が大幅に低下することを回避するため, 新たな振動耐久性評価方法を考案し, 特許出願(特願2003-424895)している。この方法は, 試験条件を入力振動のレベルのみではなく, 応答振動も用いて規定する試験方法であり, 供試品の各部に伝わる振動レベルに応じて蓄積される疲労が計算され, 実地で蓄積される疲労と同等の疲労が供試品に加わるまで試験が継続される方法である。現在, この方法を採用した試験装置の開発を進めている。

(B) 共振を引き起こす振動数

振動耐久性評価の現場において, 共振とは, 入力振動に比して非常に大きな応答振動が生じる現象であり, その振動数は共振振動数や共振点などの用語で表現されている。その言葉からもわかるように, 共振を引き起こす振動数は, ある一点に限られており, その点はずれると加速度伝達率が急激に低下し, 通常の振動, すなわち, 加速度伝達率が1程度の振動に戻ってしまうと一般的には考えられている。しかし, ガタを有する場合の入力振動の振動数と加速度伝達率の関係を数値解析によって調べた結果, 図6に示すように, 共振

を引き起こす振動数の範囲は広帯域化する(以下, 共振現象の広帯域化と呼ぶ)。さらに, その傾向は, 入力振動の加速度が大きくなるにつれて強くなることが図6の(a)と(b), (c)を比較することによりわかる。すなわち, 入力振動の加速度が大きいくほど共振を引き起こす振動数の範囲が広く, 逆に, 入力振動の加速度が小さければ, 共振現象を引き起こす範囲は狭く, 場合によっては, 共振を引き起こさない可能性もある。

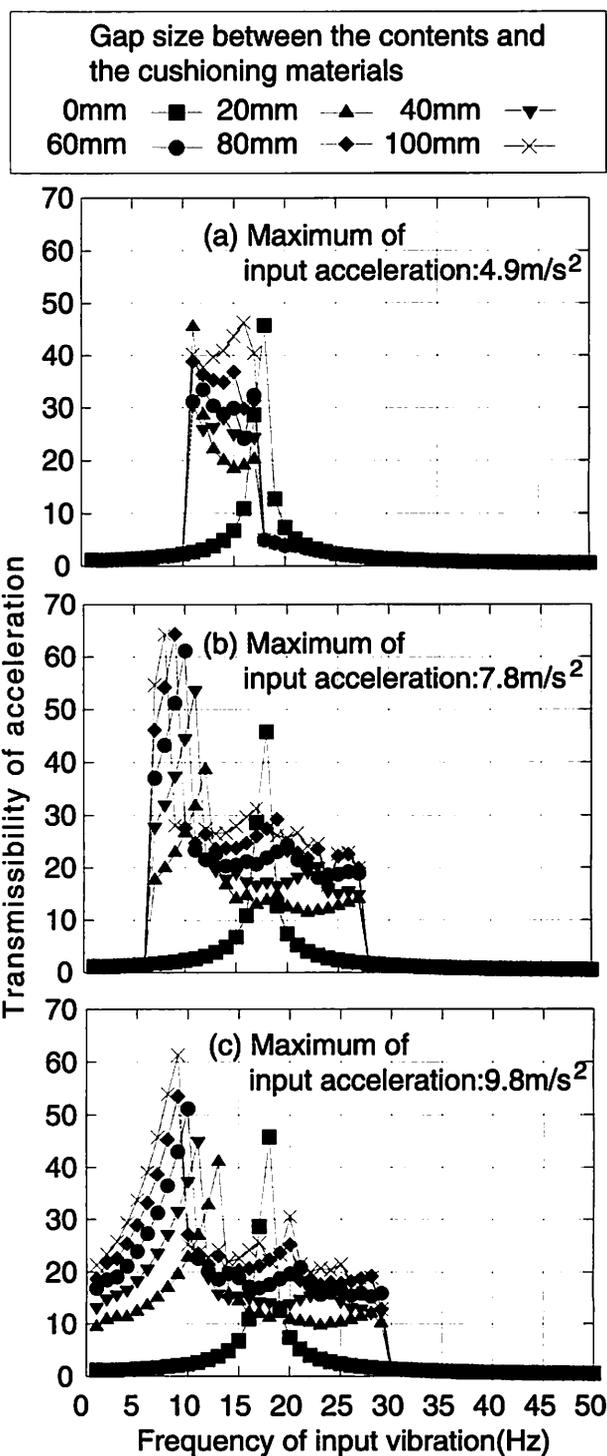


図6 入力振動数と伝達率の関係 (広帯域での共振現象)

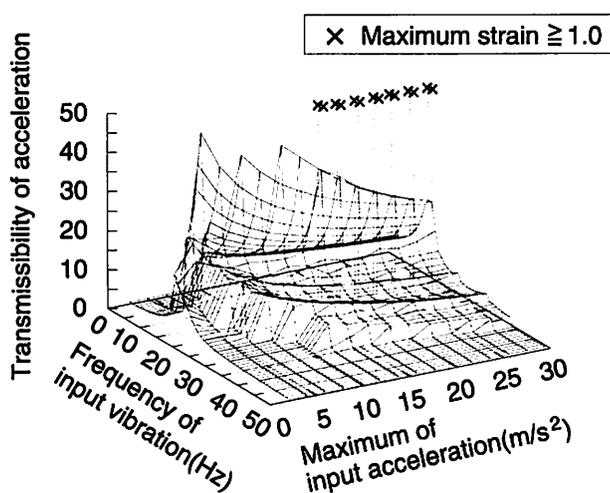


図7 入力振動数・入力加速度と伝達率の関係

実際の共振振動数検出試験において、ある共振現象が、特定の振動数だけではなく、ある幅を持った振動数範囲で発生することは、よく経験される現象である。また、低レベルの振動では生じない共振現象が、入力振動の加速度レベルを上げることによって、突然、現れるということもしばしば経験される現象である。これらの現象が数値解析によって再現されたとみることが出来る。

(C) 限界入力加速度の決定要素

図5(a)の各ガタの寸法に対する限界入力加速度を比較すると、ガタの大きさにかかわらず全て同じ値となっており、限界入力加速度はガタの大きさにはあまり影響を受けない傾向があることがわかる。一方、図5(a)と、図5(b)の各限界入力加速度について比較すると、入力振動の振動数が5Hz(図5(a))の場合、限界入力加速度が約 8m/s^2 であり、25Hz(図5(b))の場合、限界入力加速度は約 5m/s^2 である。さらに、振動数が50Hz(図5(c))の場合には、限界入力加速度

は約 25m/s^2 までの範囲では存在しない。このことから、入力振動の振動数は、限界入力加速度の値、さらには、その存在に大きく影響すると考えられる。

ガタの大きさを20mmに設定した数値解析によって、振動の入力加速度と振動数の二つのパラメータと加速度伝達率の関係を調べた結果を3次元のグラフにまとめ、図7に示す。図より、入力振動の振動数が系の固有振動数(ガタがない線形振動での共振振動数に相当)から離れるほど、限界入力加速度が大きくなる傾向がある。この傾向は、系の固有振動数よりも大きな振動数の入力振動を加えたときに顕著で、約40Hzを超えると限界入力加速度は 30m/s^2 以上の値となる。

6. おわりに

振動試験における供試品の非線形応答現象の具体例を紹介し、輸送包装貨物において代表的な非線形応答現象の一つとしてガタを例に挙げ、数値解析を行い、耐久性評価結果が実地で再現されないメカニズムを明らかにした。実地での再現性を保障するためには、実地において想定される振動をできるだけ正確に把握し、限界入力加速度など振動伝達の非線形性を十分に考慮した試験方法を開発しなければならない。著者らは、振動伝達の非線形性にも対応できる試験方法を考案し、特許出願している。

参考文献

- 1) 津田和城, 中嶋隆勝: 包装学会誌, 14 (2005) p.35.
- 2) たとえば, 酒井善治: 日本振動技術協会誌, 4 (2001) p.8
- 3) たとえば, 河野澄夫, 岩元睦夫: 食糧—その科学と技術—, 28 (1989) p.1
- 4) 日本包装技術協会: 新・包装技術便覧1, 日本生産性本部, (1995) p.2110

キャピラリー電気泳動法の環境分析への応用

Application of Capillary Electrophoresis for Environmental Analysis

中島 陽一*
Yoichi Nakashima

(2005年6月8日 受理)

キーワード：キャピラリー電気泳動、環境分析、イオン分析、ポリオキシメタレート

1. はじめに

(1) キャピラリー電気泳動法¹⁾

キャピラリー電気泳動法(CE)は、電解液を満たしたキャピラリー(細管)両端に直流高電圧を印加し、分析対象物を電気泳動させることにより、分離分析を行う手法である。CE 測定装置(図1)は直流高圧電源(0~30kV)、紫外可視検出器、泳動液のバイアル、電極および熔融シリカキャピラリー(内径 20~100 μ m, 長さ 30~200cm)だけで構成され、非常に単純である。市販装置の多くは、これに加えてオートサンプラーとフォトダイオードアレイ検出器(多波長の光を同時に検出できる半導体検出器)を備えており、自動測定および泳動してきた物質の紫外可視吸収スペクトルをオンラインで測定することが可能である。CE 測定装置のほとんどは、その構成上の制約から熔融シリカキャピラリー自身に光を透過させ、吸光度を測定しているため、光路長は熔融シリカキャピラリーの内径で制限される。このことがCEの欠点の一つである検出感度の低さにつながっている。

イオンクロマトグラフィーとは異なり、CE法では分離のためにカラムを必要としない。このため、同一キャピラリーで陰、陽イオンの分析が可能である。また、荷電ミセルとの相互作用を利用した、ミセル動電クロマトグラフィー(Micellar electrokinetic chromatography: MEKC)においては、電荷のある溶質と同様に中性の溶質も分離分析が可能である²⁾。このように、CE法は

多種多様な測定条件が選択できるため、一般的なイオンに限らず、様々な分析が行えるという特長がある。また、本分析法では簡便かつ高分離能が容易に得られるため、急速にその応用範囲が広がり、現在ではイオンクロマトグラフィー同様、多くの研究機関、企業などでイオン分析などに用いられている。

(2) CE法による環境分析³⁾

環境分野におけるCE法の応用は徐々に広がりを見せているが、アメリカで無機陰イオン分析に公定法として採用されている以外は、実分析に应用されている例は少ない。これは、環境試料中の分析対象物が低濃度(ppmレベル以下)であること、共存する化学種が種々雑多であること、等に起因する。これらの問題点を克服するために、オンライン濃縮、質量分析装置の利用等、様々な検討がなされており、海水中の硝酸イオンおよび亜硝酸イオンの定量⁴⁾や河川水中のフタル

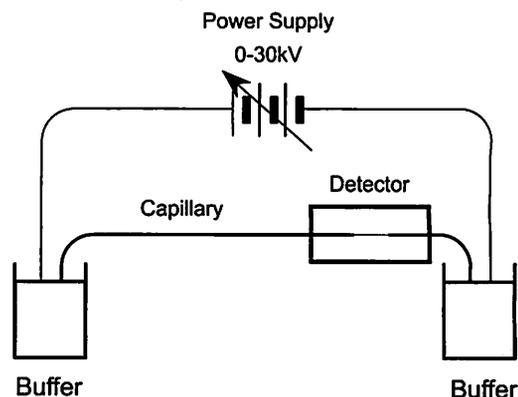


図1 キャピラリー電気泳動装置の概略図

* 化学環境部 環境・エネルギー・バイオ系

酸エステル類の分析⁵⁾等に用いられている。このような CE 法の環境分析への応用は今後の測定機器の発達によってさらに広がっていくものと考えられる。

(3) 本研究の目的と意義

上記の様に、CE 法を環境分析に適用するためには検出感度の向上が不可欠である。以前報告したように⁶⁾、筆者らは錯形成等の化学反応を用い、分析対象物をより大きなモル吸光係数を持つ物質へと変換することにより高感度化を図る手法について研究を行ってきた。具体的には大きな吸光度をもつヘテロポリオキシメタレート⁷⁾の生成反応を詳細に検討し、分離分析法に有用な錯形成反応系を見いだしてきた。本報では、これらの反応を CE 分析へ応用することにより、高感度化を図るとともに環境分析へ適用した結果について述べる。

2. 実験

大塚電子(株)製 CAPI-3200Q 型キャピラリー電気泳動装置を用いて測定を行った。キャピラリーには内径 75 μ m、全長 62.2cm の溶融シリカ管を用いた。泳動ピーク測定と同時にフォトダイオードアレイによるスペクトルの測定を行った。印加電圧は検出器側の電極を基準として表記した。

3. ポリオキシメタレート生成反応の CE 法への応用

ポリオキシメタレートとは、金属原子 (Mo(VI), W(VI), V(V), Nb(V) など) に酸素原子が六配位および四配位した MO₆ 八面体や MO₄ 四面体が基本単位となり、これが頂点や稜を共有することで構築される、大きさが 10~50Å、分子量が数千にもおよぶ金属酸化物である。本研究で用いた錯体種の構造を図 2 に示す。

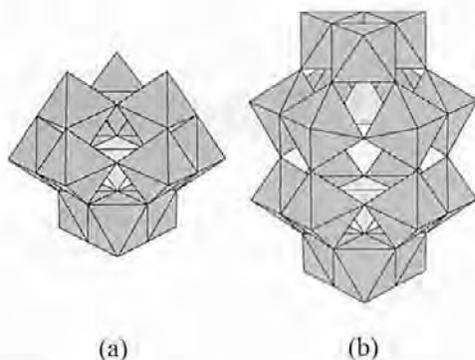


図 2 (a) ケギン型および(b)ドーソン型構造

正八面体、正四面体の頂点に酸素原子、中心に Mo、W もしくはヘテロ原子が存在する。

この種の錯体は、各種の均一および不均一触媒、顔料、表面処理剤など広い分野で用いられている^{7,8)}。このうち Mo(VI)や W(VI)は、酸性条件下でリン酸、ケイ酸などの酸素酸イオンと選択的に錯形成し、脱水縮合錯体すなわちヘテロポリオキシメタレートを生成することが知られている。この反応は、古くから現在に至るまで各種酸素酸の高感度かつ簡便な定量法として吸光度分析に応用されている。

このヘテロポリオキシメタレート生成反応の環境分析への応用について、Cr(III)と Mo(VI)の錯生成反応を利用することにより、Cr(III)の高感度 CE 分析が可能になり、さらに、Cr(III)、Cr(VI)の同時定量が容易に行えることは前報⁶⁾で詳しく述べた。同様の反応を利用すれば、I(V), I(VII)の同時定量⁹⁾、V(IV), V(V)の同時定量¹⁰⁾などが可能であるが、今回は割愛する。

(1) As(III), As(V)の高感度定量¹¹⁾

ヒ素(As)は毒性が強く、環境化学的に注目される元素である。加えて、その化学状態により、毒性の程度が異なることもよく知られているため、ヒ素の酸化状態別分析は重要度が高い。一方、高濃度領域において Mo(VI)と As(V)は安定なヘテロポリモリブデートを作ることは、古くから良く知られている。このような観点から、まず Mo(VI)と、分析対象となるような低濃度の As(V)との反応について検討を行った。両者の反応により生成する錯陰イオン [As^VMo₁₂O₄₀]³⁻は As(V)

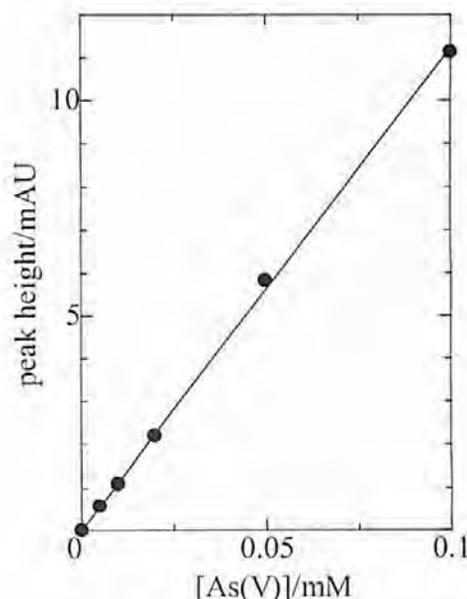


図 3 As(V)分析時の検量線

試料条件: 10mM Mo(VI)-60%(v/v) H₃CN-0.05M HCl
泳動液: 60%(v/v) CH₃CN-0.05M HCl
印加電圧: -13.5kV

(縦軸単位 AU は Absorbance Unit(吸光度単位)の略号)

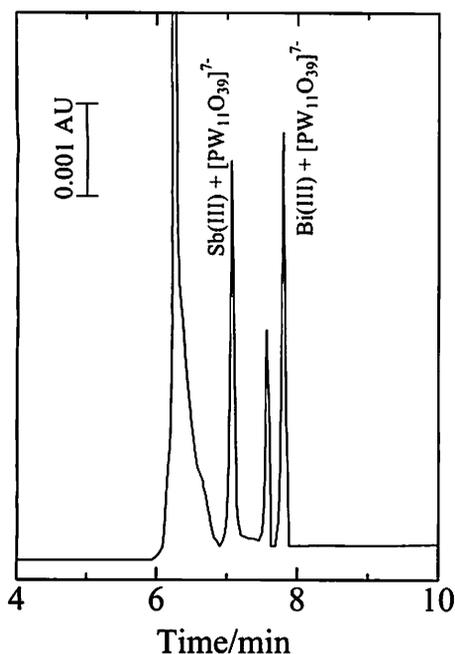


図4 Sb(III)とBi(III)の同時分析

試料条件: $1 \times 10^{-4} \text{M}$ $[\text{PW}_{11}\text{O}_{39}]^{7-}$ - $1 \times 10^{-5} \text{M}$ Sb(III) - $1 \times 10^{-5} \text{M}$ Bi(III) - 10mM マロン酸緩衝溶液 (pH2.4)
泳動液: 50mM マロン酸緩衝溶液 (pH2.4)
印加電圧: -15.0 kV

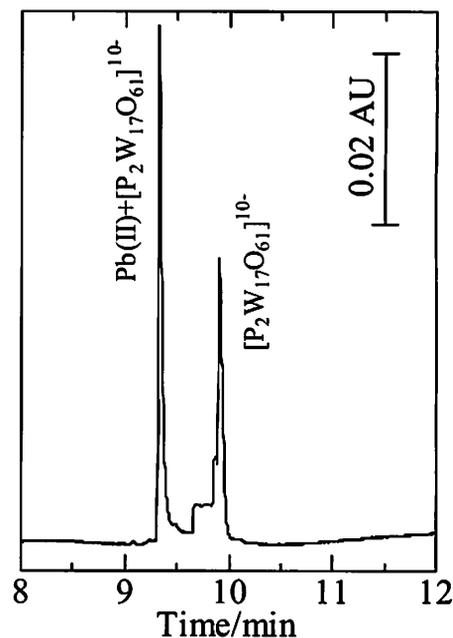


図5 Pb(II)の分析

試料条件: $5 \times 10^{-5} \text{M}$ $[\text{P}_2\text{W}_{17}\text{O}_{61}]^{10-}$ - $2 \times 10^{-5} \text{M}$ Pb(II) - 50mM NaNO_3 - 50mM 酢酸緩衝溶液 (pH 5.2)
泳動液: 50mM マロン酸緩衝溶液 (pH5.2)
印加電圧: -13.5kV

の濃度が低いため、水溶液中では不安定であるが、系にアセトニトリルなどの有機溶媒が共存すると安定化することがわかった。このため、従来用いていた泳動液(水溶液)はこの錯体には利用することができなかったが、水-有機混合溶媒を泳動溶液としたCE分析について研究したところ、良好な結果を得た(図3)。このときのAs(V)の検出限界は $1 \times 10^{-7} \text{M}$ (S/N=3)に達した。

一方、Mo(VI)とAs(III)は水-有機混合溶媒中で $[\text{As}^{\text{III}}\text{Mo}_{11}\text{O}_{39}\text{H}_6]^{3-}$ を生成するが、この反応は高濃度領域でしかおこらなかった。このため、As(III)錯体のCE分析は行えなかったが、 H_2O_2 によりAs(III)をAs(V)へと酸化することにより、間接的に定量することは可能であった。これらの知見に基づき、As(III)、As(V)の酸化状態別定量を行った。具体的には、(i) 試料をそのまま測定する(As(V)のみの定量値)、(ii) 試料に H_2O_2 を加えた後、測定する(As(III)とAs(V)の合算値)、(iii) (ii)の結果から(i)の結果を差し引く(As(III)の定量値)といった逐次測定により、As(III)およびAs(V)の定量を行うことができた。

(2) P(V)、As(V)の高感度定量^{12,13)}

河川、湖沼、海洋等の富栄養化の原因となるP(V)は、As(V)同様、水-有機混合溶媒中で錯陰イオン

$[\text{P}^{\text{V}}\text{Mo}_{12}\text{O}_{40}]^{3-}$ を生成し、CE分析が可能であることはすでに報告した⁶⁾。この分析系についてさらに研究を進めた結果、P(III)、ピロリン酸等との同時分析が可能であることが示唆されている。

一方、同族元素であるP(V)、As(V)の同時分析を検討したところ、両錯体種の電気泳動移動度はほぼ等しいため、その分離は困難であった。このため、両錯体種の酸化還元挙動の違いを利用し、分離度を改善する手法について研究した。その結果、アスコルビン酸を用い両錯体種を還元すれば、P(V)の場合、 $[\text{H}_3\text{Pmo}_{11}\text{O}_{39}]^{4-}$ が、As(V)の場合、 $[\text{H}_5\text{AsMo}_{10}\text{O}_{37}]^{4-}$ が生じることが分かった。両錯体は、その構造が異なるため、電気泳動移動度も異なり、そのため、P(V)及びAs(V)の同時分析が可能であった。ピーク分離の改善法としては、泳動液の組成およびpH、電位勾配等の検討を行うことが一般的であるが、このような手法は他にほとんど報告がない。このため、新たなピーク分離の改善手法として今後の発展が期待される。

(3) Sb(III)、Bi(III)の同時定量¹⁴⁾

Mo(VI)同様、W(VI)も数多くのポリオキソメタレートを生じることが知られているが、一般的にポリオキソタングステートの生成速度は遅く、その分析化学的研究はほとんどなされていなかった。この問題を

解決するため、あらかじめ生成させた欠損ケギン型錯体($[PW_{11}O_{39}]^{7-}$)とヘテロ原子との反応について検討した。この検討の結果、数多くの1置換ケギン型錯体が速やかに生成し、 $[PW_{11}O_{39}]^{7-}$ が $[PMo_{11}O_{39}]^{7-}$ 同様分析化学的に有用であることを見いだした。従って、この場合の $[PW_{11}O_{39}]^{7-}$ は一種の配位子と考えることができる。ポリオキソタングステートは同様のポリオキソモリブデートよりも安定であり、このことはCE法へのポリオキソメタレート生成反応の応用範囲の拡大を可能とする。毒性が高く、環境に悪影響を与えるSb(III)及びBi(III)を例とし、この錯生成反応のCEへの応用を詳細に検討したところ、pH2.4において両者の同時定量が可能であり(定量範囲 $2 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-5} M$)、その検出限界は $1 \times 10^{-7} M$ (S/N=3)であった。さらに同じ測定条件でAl(III)もSb(III)、Bi(III)おのおのと分離し、定量することができた。

(4) Pb(II)の高感度定量

通常、環境水中の微量鉛(Pb(II))は、フレイムレス原子吸光法、ICP質量分析法などにより測定される。これらの方法は高感度であり広く用いられているが、その装置は一般に高価である。一方、Pb(II)はフレイム原子吸光法、ICP発光分析法などでも定量が可能である。しかし、両分析法は環境試料の分析に用いるには感度が低く、煩雑な前濃縮操作を必要とする。従って、より簡便でかつ感度の高い測定法が求められている。

今回、Pb(II)と欠損ドーソン型錯体($[P_2W_{17}O_{61}]^{10-}$)との反応を研究し、pH5-6の範囲で錯形成が起こることを見いだした。この欠損ドーソン型錯体($[P_2W_{17}O_{61}]^{10-}$)も、上記の欠損ケギン型錯体($[PW_{11}O_{39}]^{7-}$)同様配位子として働いているものと考えられる。この錯形成反応をキャピラリー電気泳動法に応用し、環境水中のPb(II)の定量を検討した(図5)。CE法におけるピーク面積および形状に及ぼす泳動緩衝溶液のpHの効果を検討したところ、そのピークはpH5.0-6.0の範囲で出現し、pH5.2付近で最大になった。今回得られた定量範囲は、 $2 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-5} M$ 、検出限界は $1 \times 10^{-7} M$ (S/N=3)であった。

この測定系を水道水中の鉛の定量に応用することを試みた。今回は鉛を含有する水道水を見いだすことができなかつたため、水道水に一定量の鉛を添加したものを試料とした。上記の定量下限値は、水道水における基準値($5 \mu g/L$)には及ばないため、試料に硝酸を加えた後、10倍に濃縮し、定量した。 $5 \times 10^{-8} M$ (およそ $5 \mu g/L$)の鉛を含む水道水を用い、5回の操作を行ったときの

平均の回収率は102%であった。このことから、上記の高感度な測定装置を用いずとも、CEによる規制値レベルの水道水中の鉛の定量が可能であることを示すことができた。

4. 終わりに

本報文では、ヘテロポリオキソメタレートの生成反応をCE分析法への応用することにより高感度化が図れ、環境分析へ応用できることを中心に述べた。

本研究のような誘導体化法では分析対象物が限定されるという問題点は存在する。しかし、CE法という高分離能を有する分析法と組み合わせることにより、従来問題であった目的錯体種検出時の、他の錯体種の妨害が回避できた。さらにポリオキソメタレートの高いモル吸光係数のために、検出感度も向上し、環境試料のような高感度が求められる分析にも応用することができた。このように、錯形成による分析対象物の誘導体化は、CE法のみならず他の分離分析へも応用範囲が広がることが期待される。

参考文献

- 1) 本田 進, 寺部 茂: キャピラリー電気泳動—基礎と実際, 講談社(1995)
- 2) S. Terabe, K. Otsuka, K. Ichihara, A. Tsuchiya and T. Ando: *Anal. Chem.*, **56** (1984) p.111
- 3) 竹田さほり: *ぶんせき*, (2003) p.497
- 4) K. Fukushi, T. Miyado, N. Ishio, K. Saito, S. Takeda and S. Wakida: *Electrophoresis*, **23** (2002) p.1928
- 5) S. Takeda, Y. Tanaka, M. Yamane, Z. Siroma, S. Wakida, K. Otsuka and S. Terabe: *J. Chromatogr. A*, **924** (2001) p.415
- 6) 中島陽一: 大阪府立産業技術総合研究所報告, No.15 (2001) p.91
- 7) M.T. Pope: *Heteropoly and Isopoly Oxometalates*, Springer-Verlag, Berlin (1983)
- 8) 日本化学会(編): *ポリ酸の化学—金属酸化物分子と集合体の構造と機能* 季刊化学総説 (No.20), 学会出版センター (1993)
- 9) Y. Nakashima, H. Shen, K. Kusuyama and S. Himeno: *Anal. Sci.*, **15** (1999) p.725
- 10) I. Kitazumi, Y. Nakashima and S. Himeno: *J. Chromatogr. A*, **939** (2001) p.123
- 11) K. Sano and S. Himeno: *J. Separ. Sci.*, **25** (2002) p.438
- 12) Y. Nakashima, T. Goto, I. Kitazumi and S. Himeno: *Electrophoresis*, **22** (2001) p.3377
- 13) S. Himeno, K. Sano and Y. Nakashima: *J. Chromatogr. A*, **966** (2002) p.213
- 14) S. Himeno, I. Kitazumi, M. Takamoto and Y. Nakashima: *Talanta*, **61** (2003) p.59

高温廃熱回収器の開発

Development of Recuperator for High Temperature Exhaust Gas

井本 泰造* 東 忠宏* 宮内 修平**
Taizo Imoto Tadahiro Azuma Shuhei Miyouchi

入江 年優***
Toshimasa Irie

(2005年6月8日 受理)

キーワード：廃熱、高温、回収、セラミックス、省エネルギー

1. はじめに

2005年2月16日に京都議定書(COP3)が正式に発効したことから、わが国では地球温暖化防止に向けて、2010年をめどに、要因物質である二酸化炭素の排出量を1990年に比べて6%減らすこととなった。

産業界において本削減目標を達成するには、燃焼における熱エネルギー利用の高効率化が重要な技術課題となる。燃焼設備の熱効率改善を図る場合、炉内構造の改良、放熱損失の低減、完全燃焼の達成等の手段があるが、最大の熱エネルギー損失である燃焼排ガス損失を低減するには、最終的な排ガス温度を低下させる高温廃熱回収を行う必要がある。

日本全国には、溶解炉、加熱炉、熱処理炉、焼成炉、乾燥炉、化学工業炉等合わせて約40000基の工業炉があり、そのエネルギー使用量は日本の産業の約40%を占めている。しかし、その熱効率は平均で35%程度であり、更なる効率向上が望まれている。特にセラミックス焼成業など1200℃以上の高温炉を必要とするエネルギー多消費型産業では、排ガス温度が高いため、熱効率が15%未満と極めて低い。このように燃料を大

量に使用している業種において、高温廃熱回収を実施し、燃焼用空気加熱用熱源として利用すれば、燃料節減(省エネルギー化)によって排ガス量の低減が図られ、二酸化炭素の削減に大きく寄与することになる。

しかし、通常使用されている金属製廃熱回収装置は、耐熱・高温腐食等の問題から、金属温度600℃が限界で、排熱回収温度は400℃程度にとどまる。そこで、本研究では、高温排ガスから1000℃以上の高温燃焼用空気を得ることを目的として、伝熱管にアルミナセラミックス管を採用すると同時に、輻射エネルギーを最大限に利用するため、伝熱管内外に伝熱促進管を挿入した高温廃熱回収器(シェルアンドチューブ方式)の開発を行った。また、高温廃熱回収を行った場合の省エネルギー効果についての検討も行ったので併せて報告する。

2. 実験装置および方法

(1) 燃焼炉

本実験では、高温の廃熱が必要となることから、1400℃以上の高温排ガスを得ることを目標として燃焼炉の諸元を決定し、試作を行った。炉負荷は不完全燃焼を起こさないよう、600kW/m³(52万kcal/m³h)程度に設定し、都市ガス燃焼量、燃焼室容積を各々、約1m³/h、20ℓ(燃焼室寸法：275×250×300mm)と

* 化学環境部 環境・エネルギー・バイオ系

** 業務推進部 技術支援センター

*** 業務推進部 技術普及課

表1 各種炉内温度における炉壁温度と放熱損失

炉内温度 °C	炉壁温度 °C	放熱損失 W
1600	123	2932
1500	116	2746
1400	110	2561
1300	103	2375
1200	97	2189
1100	90	2004

断熱材厚さ:200mm

した。さらに、放熱抑制および安全のため、炉壁温度が100℃～130℃程度となるような炉壁(断熱材)厚さを設定し、種々の炉内温度における炉壁温度、放熱損失量を以下に示す式によって算出した。

熱通過率 $K=1/(t/A+1/B+1/C)$ ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

A:断熱材熱伝導率 ($W/m \cdot ^\circ C$)

B:高温側熱伝達率 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

C:低温側熱伝達率 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

t:断熱材厚み (m)

放熱損失量=(炉壁温度-外気温度)×表面積
×熱伝達率 (J)

熱通過量=(炉内温度-炉壁温度)×熱通過率
×表面積 (J)

放熱損失量=熱通過量

断熱材は軽量化のためセラミックスボードを使用し、断熱材厚さを200mmとした場合の計算結果を表1に示す。これより炉内温度1400℃～1600℃において、壁面温度は110℃～120℃となり、放熱損失は2560W～2930Wに抑えられることを確認した。

次に、所定の炉内温度を得るための燃焼用空気量を求めるために、放熱損失を考慮して燃焼計算を行った結果を図1に示す。図中、横軸には空気比(実際空気量/理論空気量)を示す。空気比を1.3(燃焼用空気量14m³/h)以下に絞ると、炉内温度1400℃以上が得られることがわかる。

さらに、空気比1.1で1600℃程度の高温排ガス(炉内温度)が得られることが判明し、上記の設計諸元(都市ガス燃焼量:約1m³/h、燃焼室容積:20ℓ、断熱材厚さ:200mm、空気比:1.1～1.3)に基づいて燃焼炉の試作を行った。図2に燃焼炉と廃熱回収器を一体構造とした実験装置概略を、図3に実験装置外観を示す。

(2) 廃熱回収器

廃熱回収した高温空気(2次側)を熱設備の燃焼用空気として利用し、燃料(都市ガス)使用量を削減することを目的としているため、2次側空気量は燃焼用空気量と同量とすることを前提とした。

廃熱回収器設計条件として

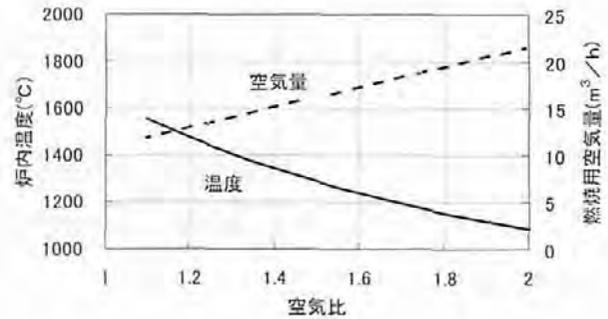


図1 燃焼炉における燃焼計算結果
(都市ガス燃焼量:1m³/h、断熱材厚さ200mm)

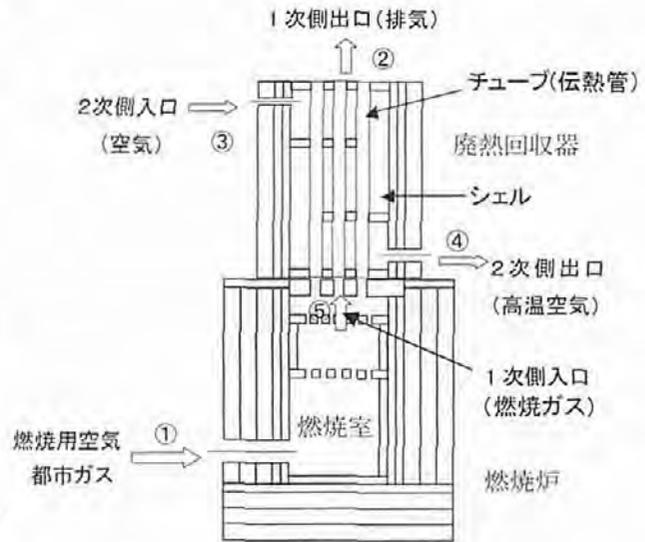


図2 実験装置概略

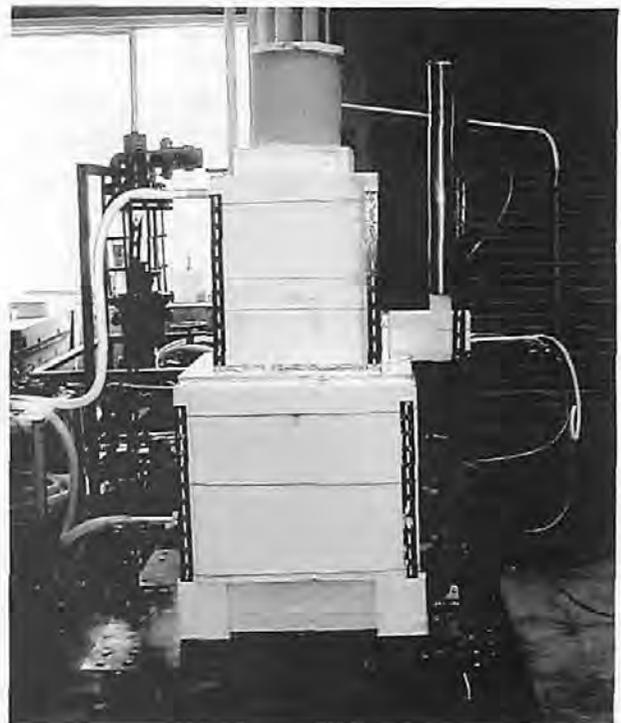
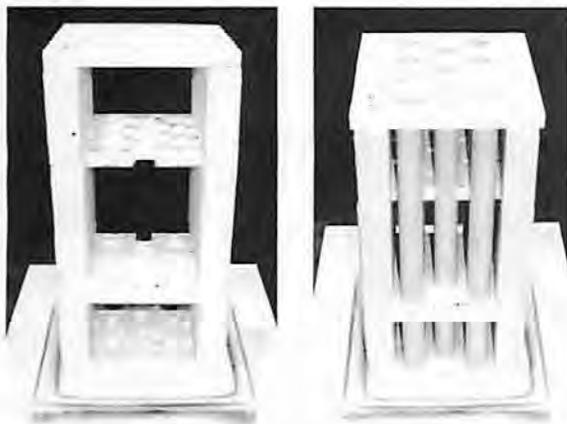


図3 実験装置外観

表2 廃熱回収器設計計算結

空気比	1次側入口 ガス温度 °C	1次側出口 ガス温度 °C	対数平均 温度差 °C	伝熱面積 m ²	交換熱量 W
1.1	1557	830	675	0.58	4572
1.2	1476	729	585	0.73	4988
1.3	1405	640	505	0.92	5404
1.4	1343	560	434	1.15	5819
1.5	1287	489	371	1.45	6235
1.6	1237	424	314	1.82	6651
1.7	1193	366	262	2.32	7066
1.8	1152	313	215	3.00	7482

都市ガス燃焼量: 1m³/h
2次側出口空気温度: 1000°C



支持枠 チューブ装着

図4 廃熱回収器内部構造

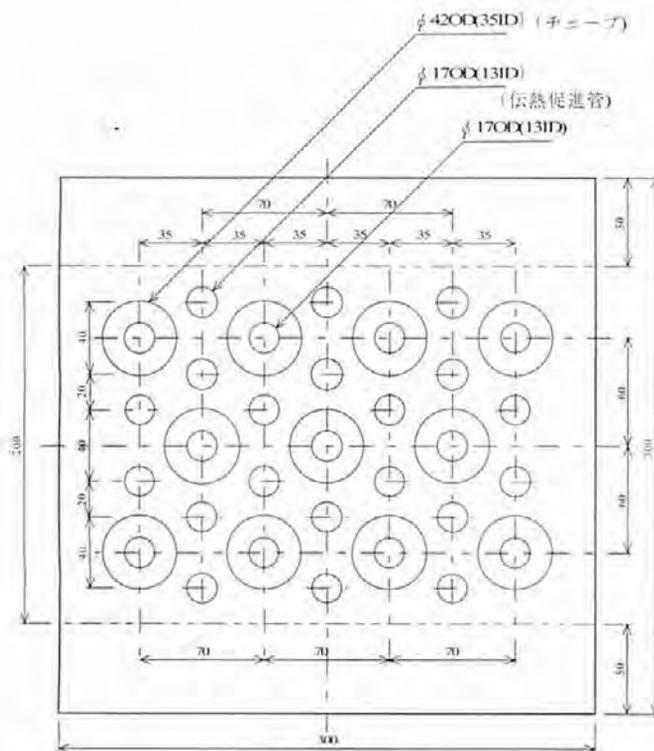


図5 チューブおよび伝熱促進管配置

2次側空気温度: 20°C→1000°C

総括伝熱係数: 11.6W/m²·°C (10kcal/m²·h·°C)
に設定し、以下に示す計算式により交換熱量、1次側
出口ガス温度、対数平均温度差、廃熱回収器の伝熱面
積等を求めた。計算結果を表2に示す。

$$1 \text{ 次側交換熱量} = \int_X^{T_1} V_1 C_{p1} dt \quad (\text{J})$$

$$2 \text{ 次側交換熱量} = \int_{t_1}^{t_2} V_2 C_{p2} dt \quad (\text{J})$$

1次側交換熱量 = 2次側交換熱量

$$\text{対数平均温度差} = \frac{(T_1 - X) - (t_2 - t_1)}{\ln((T_1 - X)/(t_2 - t_1))} \quad (^\circ\text{C})$$

$$\text{伝熱面積} = \frac{\text{交換熱量}}{\text{対数平均温度差} \times \text{総括伝熱係数}} \quad (\text{m}^2)$$

ここで

T_1, X : 1次側入口・出口ガス温度(°C)

t_1, t_2 : 2次側入口・出口空気温度(°C)

V_1, V_2 : 1次側ガス量・2次側空気量(kg/h)

C_{p1}, C_{p2} : 1次側ガス・2次側空気比熱(J/kg·K)

廃熱回収器のチューブ(伝熱管)には伝熱促進管を
チューブ内外に挿入することを考慮に入れ、外形
42mm(厚さ3.5mm)、長さ600mmの市販されている
アルミナセラムックス管を使用することとした。表2
より2次側出口空気温度が1000°Cになる伝熱面積は、
1次側入口ガス温度1405°Cの場合、0.9m²程度となっ
ている。今回の試作では、伝熱促進管の影響で性能が
向上することを期待して、11本のチューブ(伝熱面積
0.8m²)を使用することとした。

図4に廃熱回収器内部構造を、図5にチューブおよ
び伝熱促進管をチューブ内とシェル側に配置した例を

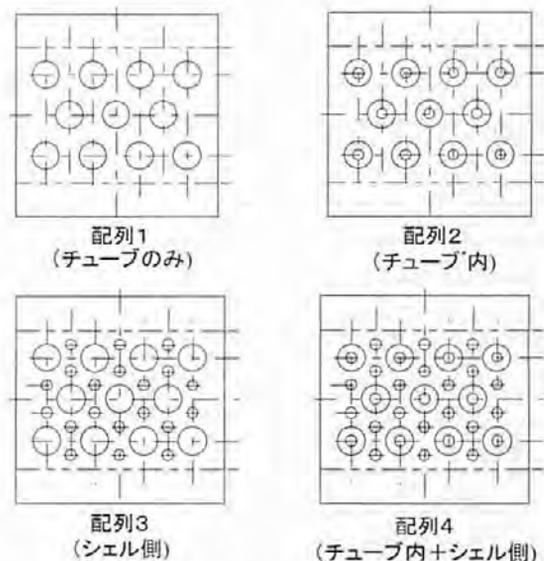


図6 廃熱回収器チューブおよび伝熱促進管配置図

示す。

(3) 実験方法

廃熱回収器のチューブおよび伝熱促進管の配置は図6に示すように4種類とし、伝熱性能比較試験を行った。2次側空気量と燃焼用空気量は10~20m³/hの範囲で同量となるように変化させた。この場合、1次側入口(炉出口)ガス温度を1300℃とほぼ一定とするため、都市ガス量を0.75~1.2m³/hの範囲で調節した。表3に空気量(2次側・燃焼用)一都市ガス量と伝熱促進管配列との組み合わせ条件を記号化し、実験条件として示してある。さらに、廃熱回収温度(2次側出口空気温度)をどの程度まで上げられるかを調べるた

表3 実験条件

空気量 (2次側・燃焼用) 一都市ガス量 (m ³ /h-m ³ /h)	伝熱促進管配列			
	配列1	配列2	配列3	配列4
A. 10-0.75	1-A	2-A	3-A	4-A
B. 15-1.0	1-B	2-B	3-B	4-B
C. 20-1.2	1-C	2-C	3-C	4-C

表4 測定位置(図2参照)

測定項目	測定箇所
都市ガス量	①
燃焼用空気量	①
2次側空気量	③
1次側入口ガス温度	⑤
1次側出口ガス温度	②
2次側入口空気温度	③
2次側出口空気温度	④
1次側出口ガス温度	②
2次側出口空気温度	④

表5 測定結果(伝熱促進管:チューブ内+シェル側)

実験条件		4-A	4-B	4-C	
燃焼用空気量	m ³ /h	9.87	14.85	19.76	
2次側空気量	m ³ /h	9.84	14.93	19.80	
都市ガス量	m ³ /h	0.74	0.98	1.18	
1次側	実測O ₂ 濃度	%	5.45	6.66	7.95
	計算O ₂ 濃度	%	3.63	5.64	7.06
	入口ガス温度	°C	1326	1347	1322
	入熱量	W	6052	8750	11670
	出口ガス温度	°C	403	465	504
	計算出口ガス温度	°C	637	659	680
2次側	CO ₂ 濃度	%	0.0	0.0	0.0
	入口空気温度	°C	29	32	33
	出口空気温度	°C	849	870	828
	出熱量	W	3417	5058	6195

めに、燃焼用空気量、2次側空気量を15m³/hで一定とし、都市ガス量を調節して1次側入口ガス温度を変化させた場合の性能試験も行った。

都市ガス量、燃焼用空気量、2次側空気量、温度、ガス濃度の測定位置は表4に示す通りで、流量測定には質量流量計、温度測定には熱電対を使用し、その出力をデータロガーに記録した。

ここで、1次側ガス(チューブ側)の2次側空気(シェル側)への漏れ込みの有無は、2次側排ガス分析値(CO₂濃度)から確認した。また、2次側空気の1次側ガスへの漏れ込みの有無は、1次側排ガス分析値(O₂濃度)と燃焼用空気量一都市ガス量から求めた計算O₂濃度との相違から確認した。

3. 実験結果および考察

表5に測定結果の一部を示す。測定結果は燃焼炉の立ち上げから6時間経過後で、ほぼ定常状態に達した時点でのサンプリングデータの10分間平均値である。

全ての実験条件で1次側実測O₂濃度が、燃焼用空気量一都市ガス量からの計算O₂濃度よりも大きな値を示し、2次側空気の一部が1次側へ漏れていることが判明した。また、CO₂濃度分析結果から2次側空気への1次側ガスの漏れこみは、ほとんどないことを確認した。ここでは、構造上、2次側空気の一部が熱交換されずに廃熱回収器上部隙間から1次側出口に漏れ出したと仮定して、2次側空気量を補正(漏れ出し量:5~10%)することにより出熱量(2次側交換熱量)を算出した。また、1次側出口ガス温度は、計測位置がチューブ出口より上部で、漏れこみ空気の影響を受けることが予測されるため、交換熱量から算出した値を用いた。本結果から、チューブにアルミナセラミック管を使用し、伝熱促進管を挿入することで、1次側入口ガス温度約1300℃の場合、850℃前後の高温空気が得られることを確認した。

図7、8に伝熱促進管配列を変化させた場合の、2次側空気量と総括伝熱係数、2次側空気量と交換効率(出熱(2次側交換熱量)/入熱(1次側投入熱量))の関係をそれぞれ示す。伝熱促進管配列を2→4へ変化させ、伝熱促進管を増やすことで、熱交換器の性能指標である総括伝熱係数ならびに交換効率はともに向上している。配列4の場合、燃焼炉の定格負荷時(2次側空気流量15m³/h相当)で総括伝熱係数は約15W/m²・℃であり、チューブのみ(配列1)の場合と比較して30%程度改善している。交換効率は定格負荷時で約55%であり、チューブのみの場合に比べ5%程度

の向上を示す。

2次側空気量の増加に伴い、燃焼用空気量も増加しているため、チューブ側空気流速、シェル側ガス流速がともに上昇し、境膜伝熱抵抗が改善され総括伝熱係数が向上している。一方、交換効率は逆の傾向を示しているが、これは入熱・出熱共に増加しているにもかかわらず、伝熱面積が一定であるため、1次側出口ガス温度(排気温度)が上昇し、排ガス損失が増加したこと起因すると考えられる。

次に、伝熱促進管をチューブ内+シェル側に挿入し(配列4)、1次側入口ガス温度を変化させた場合の2次側出口空気温度の試験結果を図9に示す。1次側入口ガス温度の上昇に伴い2次側出口空気温度も比例的に上昇している。1次側入口ガス温度1500℃の場合、950℃の2次側出口空気温度が得られ、目標とする

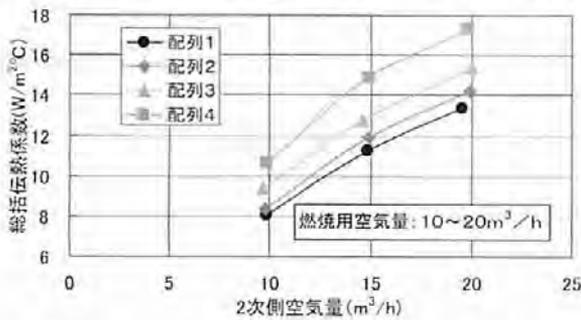


図7 2次側空気量と総括伝熱係数の関係

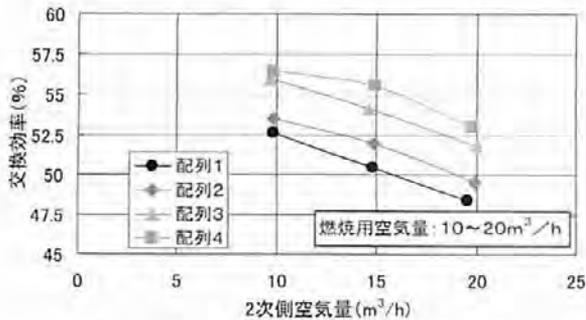


図8 2次側空気量と交換効率の関係

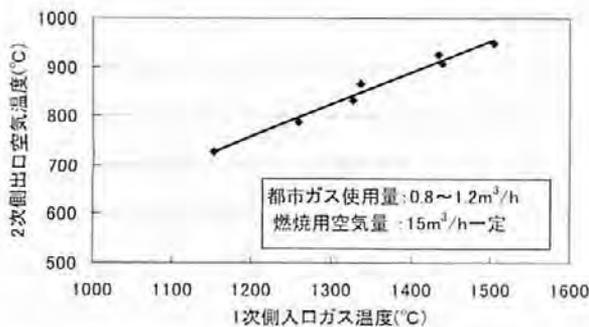


図9 1次側入口ガス温度と2次側出口空気温度の関係

1000℃以上の高温空気温度の達成も可能であると予測される。

4. 廃熱回収によるエネルギー削減効果

以上の実験結果から、チューブにアルミナセラミックス管を採用することで、目標とする高温熱回収ができることが明らかとなった。通常、セラミックス焼成炉において、従来の金属製熱交換器を用いて熱回収を行う場合、耐熱性・高温腐食の問題から、炉からの排ガスを空気で希釈し、温度を下げて熱交換するため、300℃程度の予熱空気として熱回収するにとどまっている。しかし、本廃熱回収器は耐熱性のある材料を使用しているため、炉からの高温排ガスを直接熱交換することが可能となり、1000℃以上の予熱空気として回収できることが予測される。そこで、図10に示すようなシステムによって、炉内温度(1700℃)、放熱量(12kW)、空気比(m=1)を一定とし、高温予熱空気燃焼を行った場合の熱収支計算を行い、エネルギー削減効果を検討した。

図11より予熱空気温度が高くなるほど都市ガス量および燃焼用空気量が少なくなることが判る。廃熱を

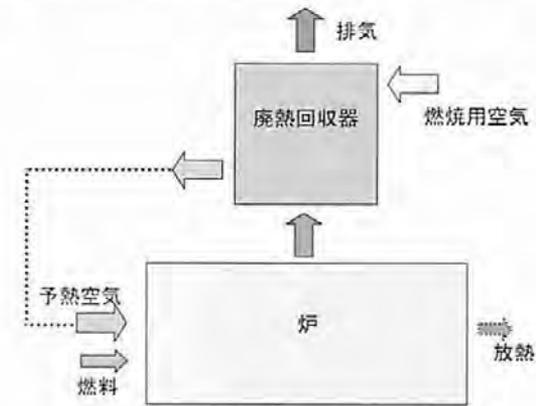


図10 モデル炉

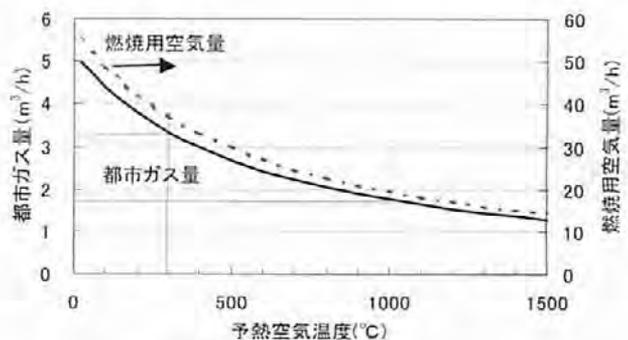


図11 予熱空気温度と都市ガス量ならびに燃焼用空気量の関係(燃焼計算結果)

回収し、1000℃の燃焼用空気として利用した場合、廃熱回収を行わない場合と比較すると65%の燃料削減効果を示す。一方、従来の300℃の予熱空気を使用する場合と比較しても、45%程度の燃料削減が可能となる。本計算結果は、高温排ガスを伴う熱設備において、従来不可能であった温度レベルで廃熱回収を行い、予熱空気温度を高温化することによって、大幅な省エネルギー効果が期待できることを示している。さらに、燃焼用空気量、排ガス量が減少することから、炉の付帯設備（燃焼器、送風機、配管等）が小型化し、省資源化も図れる。

5. まとめ

以上、チューブ内外に伝熱促進管を挿入した高温廃熱回収器（シェルアンドチューブ方式）を試作し、伝熱性能実験を行った結果、以下のことが明らかになった。

(1) チューブ（伝熱管）にアルミナセラミックス管を

採用することによって、高温の廃熱回収が可能となる。

- (2) 試作した廃熱回収器の総括伝熱係数は約 $15\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{℃}$ 、熱交換効率は約55%であった。
- (3) 1500℃程度の高温廃熱から950℃の予熱空気が得られ、目標とする1000℃以上の高温廃熱回収も達成可能と推定される。
- (4) 熱収支計算結果から、1000℃以上の高温廃熱回収を行うことで大幅な省エネルギー効果が図れることが明らかとなった。

なお、現時点ではセラミックス管を利用した高温の廃熱回収装置は熱サイクル疲労や温度勾配による割れ等の問題も指摘され、耐久性に関しての検討が必要である。また、高温廃熱回収を行うことで、燃料および燃焼用空気量が大幅に削減されることから、燃焼設備の火炎長さ、高温ガス流れが著しく変わることも考えられ、被加熱物への影響を考慮した炉の構造および制御方法の検討も必要となると思われる。