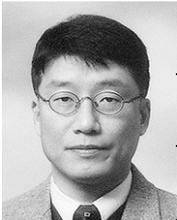


## 일본 물질·재료연구기구(NIMS)의 발자취와 현황



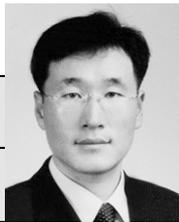
오 창 석

(KIMM 재료공정연구부)

'89 - '93 서울대학교(석·박사)  
'95 - '96 일본 Hokkaido Univ. 연구원  
'97 - '99 한전 전력연구원 선임연구원  
'99 - '01 일본 NRIM STA Fellow  
'01 - 현재 한국기계연구원 선임연구원

채 재 우

(KIMM 연구관리실)



'90 경상대학교 산업공학과(학사)  
'93 부산대학교 산업공학과(석사)  
'93 - 현재 한국기계연구원 선임연구원



이 용 태

(KIMM 창원분원장)

'74 서울대학교(학사)  
'76 한국과학기술원(석사)  
'76 - '80 국방과학연구소 선임연구원  
'85 Case Western Reserve Univ.(박사)  
'85 - '90 독일 항공우주연구소(DLR) 연구원  
'90 - 현재 한국기계연구원 책임연구원(분원장)

### 1. 서 론

전후 최대규모라고 일컬어진 일본 정부조직의 대대적인 기구개편에 따라 성(省)·청(廳) 산하의 모든 국립연구소 및 시험기관의 독립법인화가 10년간의 준비과정을 거쳐 2001년 4월 1일에 이루어졌다. 이에 따라 과학기술청 산하 재료관련 연구소였던 금속재료기술연구소(NRIM)와 무기재료연구소(NIRIM)가 통합되어 문부과학성 소관의 독립행정법인 물질·재료연구기구(NIMS)로 탈바꿈하였다. 두 연구소의 통합에 의해 1,000여명의 연구인력(비상근 포함)과 쓰꾸바(筑波)를 중심으로 일본 각지에 6개의 연구시설(쓰꾸바 3곳, 동경 1곳, 기타 2곳)을 갖춘 대형 재료연구소로 발족하게 되었다. 기구의 발족에 발맞추어 새롭게 정립된 중기 목표와 계획에서는 나노재료, 환경재료, 안전재료를 중점연구분야로 설정하였고, 연구방법론으로는 경계(boundary)영역 또는 학제간(inter-discipline)연구를 기반으로 하는 재료과학연구에 초점을 두고 있다.

일본에는 물질·재료연구기구 이외에도 일본 각지에 위치한 통산성 소관의 산업기술종합연구소(AIST, 구 공업기술원)에서도 재료관련 연구를 일부 수행하고 있지만, 물질·재료연구기구는 한국기계연구원(창원)과 가장 유사한 연구업무 및 시험평가 기능을 수행해왔으며 또한 연구원 교류, 공동연구 등 여러 면에서 지속적인 협력관계를 유지해 왔다. 본고에서는 금속재료기술연구소의 역사적 발자취에 대하여 살펴보고, 통합 발족한

NIMS가 중기 목표로 설정한 연구내용 및 발전계획에 대하여 소개하고자 한다.

## 2. 금속재료기술연구소의 발자취

### 2.1 금속재료기술연구소의 탄생

전후 10년이 경과한 1955년 무렵은 일본경제가 급격히 성장·발전하기 시작한 시점으로 당시 일본의 공업기술발전을 위한 당면과제는 구미 선진국의 기술을 도입·소화하여 생산성과 품질을 대폭 향상시키고 또한 도입된 기술을 개량하여 새로운 제품을 제조하는데 있었다. 항공·우주산업, 원자력산업 등 혁신기술의 육성 또한 국가적으로 추진해야 할 중요한 과제로 인식되었다. 이러한 산업발전과 국가적 발전 목표를 달성하기 위한 선결과제 중의 하나가 당시 선진국에 비해 품질과 성능이 떨어진다고 지적되고 있던 “재료”의 품질 개선이었다. 특히 공업제품의 주체를 이루는 금속재료에 대해서 종합적이고 근본적으로 문제를 해결할 수 있는 국립연구기관 설립의 필요성이 각 방면에서 구체적으로 논의되기 시작되었다.

1954년 공업기술원의 자문기관인 공업기술협회의회에서 금속재료에 관한 종합연구소를 설립해야 한다는 의견이 강력히 제기되었고 항공기술심의위원회에서도 항공기용 재료의 연구체제 강화를 강하게 요구하였다. 그리고 공업기술원에서는 통산산업성 금속재료연구위원회의 검토결과를 받아들여 국립 또는 특수법인의 재료연구소를 설립하기로 하였다. 1955년 항공기술심의위원회는 “설립되는 금속재료기술연구소는 항공산업에 필요한 금속재료에 관한 연구에 주안을 둘 것” 등을 주요 내용으로 한 의견을 총리대신에게 제출하였다. 1956년 금속재료기술연구소 설립을 위한 1억엔의 예산이 책정되어 40명의 인원으로 금속재료기술연구소가 설립되었으며 과학기술청의 발족과 함께 소관기관이 공업기술원에서 과학기술청으로 이관되었고, 동년 10월에 동경도 나카메구로(中目

黒)에 위치한 구(H) 해군연구소에 자리잡게 되었다. 발족 후 연구소 기초 정비를 위해 추진한 제 1차 기본정비계획의 대부분을 1963년에 달성하여 총인원 410명, 연간 예산 9억 3,000만엔, 11연구부와 관리부로 구성되는 조직을 갖추었다.

1964년부터 시작된 제 2차 기본정비계획은 재료연구에 관한 종합적인 시험센터 구축에 초점이 맞추어졌고 이후 5년 동안 크리프(creep)시험관련 장비의 구축이 우선적으로 이루어져 59명의 인원과 1,108대의 크리프 시험기를 갖추게 되었다. 1965년부터 크리프 데이터시트 작성을 위한 시험연구가 착수되었고 1967년부터는 수탁 시험업무가 개시되었다. 1969년에는 크리프에 이어 피로(fatigue)시험관계 장비에 착수하여 1972년 피로 시험기 73대와 28명의 인원을 갖추었고 1974년에 피로 데이터시트 작성에 대한 수탁업무가 개시되었다. 이러한 재료시험설비의 규모는 당대뿐만 아니라 현재에도 세계적으로 최대, 최고수준으로 평가받고 있다.

이러한 재료시험업무는 일본 금속재료의 제조 기술 및 품질향상의 발전과 궤적을 함께 하였다. 시험업무개시 이래 최장 100,000시간(약 11년반) 이상의 각종 실험을 실시하여 그 결과를 크리프 데이터시트로 발간하여 세계적으로 그 업적을 인정받고 있다. 피로 데이터에 관해서도 국내수요에 대응한 각종 데이터시트를 발행하여 높은 평가를 받고 있으며 일본의 재료규격, 표준, 설계기준 등에 점차 반영되는 등 중요한 역할을 수행해 왔다.

금속재료기술연구소는 지금까지 초판(약 10,000시간), A판(약 30,000~50,000시간), B판(100,000~190,000시간)을 포함하여 내열강, 스테인리스강, Ni기 초합금 등 고온구조용 재료를 대상으로 한 121권의 크리프 데이터시트를 발간하였으며 국내외의 연구기관, 정부기관, 학·협회, 대학 등에서 고온구조물의 설계, 유지관리, 재료설계, 규격제정 등에 기준적인 참고자료로 활용되고 있다. 크리프 데이터시트에는 크리프/파단 데이터, 크리프 변형량 데이터, 고온인장 데이터, 원소재 및 파단면의

미세조직사진, 데이터의 통계적인 평가 등이 수록되어 있으며 근래에는 CD-ROM으로 발간되고 있다.

## 2.2 금속재료기술연구소의 도약기(쓰쿠바로의 이전)

1960년대 초반 동경으로의 인구과밀과 집중을 방지하기 위하여 기능상 반드시 동경에 위치하지 않아도 될 관청(국립기관 및 국립학교)의 집단이전에 대한 검토가 시작되었고, 이천시(연구학원도시)를 동경에 인접한 이바라기(茨城)현 쓰쿠바지역으로 할 것을 각의에서 결정하였다. 쓰쿠바 연구학원도시는 수도권 동경 및 그 주변에서 이전되는 국립연구기관 및 대학을 중심으로 사립대학 및 민간연구소를 유치하여 종합적인 연구학원단지를 조성함으로써 높은 수준의 연구 및 교육을 위한 거점을 형성하는데 있었다. 또한 과학기술, 학술연구 및 교육에 대한 시대적 요청에 부응함과 동시에 수도권 전역의 균형 있는 발전을 목적으로 계획된 것이었다. 쓰쿠바로의 이전계획은 1960년대 후반에서 1970년대 초반에 이르는 약 5년 동안 백지화 검토 및 수 차례의 수정을 거쳐 수립되었으며, 금속재료기술연구소는 쓰쿠바로 이전될 43개의 교육·연구기관 중 하나로 결정되었고 150,000m<sup>2</sup>의 건설부지가 할당되었다.

금속재료기술연구소는 쓰쿠바 이전에 즈음하여 새로운 연구추진체계를 계획하게 된다. 원자력발전, 우주개발, 해양개발 등 거대과학기술 및 대형 프로젝트 중에서 국가가 중심이 되어 조직적으로 추진할 필요가 있는 기술분야에서 크게 요구되는 극한적 성능을 갖는 새로운 금속재료의 연구개발을 추진하기로 하고 이에 따라 1972년 전기자기 재료, 원자력재료, 강력재료 등에 관한 연구를 기본으로 한 쓰쿠바 건설 3개년 계획을 작성하였다. 이 계획에 근거하여 초전도재료 실험동('75년)과 특수환경 중고온특성 실험동('76년)이 각각 완성되었고 이를 기점으로 금속재료기술연구소 쓰쿠

바 분실이 개설되어 직원의 주재가 시작되었다. 1979년 쓰쿠바 분실이 쓰쿠바 지소로 격상되고, 1982년 구조재료실험동이 완성됨으로써 제1차 건설계획이 완료되었다. 1987년 표면계면 제어 실험동의 건설로 쓰쿠바로의 전면 이전 전에 이미 부지면적 150,000m<sup>2</sup>, 건물면적 10,467m<sup>2</sup>, 인원 112명의 규모를 갖추게 되었다.

전후 40년 동안 일본의 과학기술은 초기에는 선진국으로부터의 기술도입에 힘입어 발전해왔지만 1970년대 중반에 이르러서는 일부 분야를 제외하고는 선진제국의 기술수준과 거의 동등한 수준에 이르렀다. 한편 이 시기에는 세계적으로도 혁신적인 기술 출현이 정체되는 현상이 나타나 과학기술의 혁신적인 비약을 위해서는 기초과학 진흥 등 과학기술의 기반강화가 한층 중요시되고, 이를 통해 일본 독자의 기술을 개발하고 그 성과를 국제사회에 제공하는 것이 국내외적으로 강하게 요청되었다.

이와 같은 내외정세의 변화에 대응하여 1975년 금속재료기술연구소 제1차 장기계획이 책정되어 재료개발부문, 생산기술부문, 재료신뢰성부문의 3부 체제를 도입함과 동시에 연구부, 연구그룹체제로 조직이 개편되었다. 또한 재료과학에 대한 여러 가지 정책이 각 방면에서 입안되어 1982년 금속재료기술연구소는 기초적인 재료과학과 응용지향적인 재료공학의 종합화로 자주적인 기술을 개발하고 기술혁신을 촉진하는 것을 주축으로 하는 금속재료기술연구소 제 2차 장기계획을 책정하였다. 1983년 일본의 행정개혁방안에서 과학기술청 부속연구소의 조직, 사무, 사업에 대한 재평가가 이루어져 이에 금속재료기술연구소는 “종래의 한계를 뛰어넘는 성능이나 혁신적인 기능을 발현하는 신재료개발을 위한 공통적 기반기술을 구축, 강화한다”는 임무를 부여받아 1985년 종래와는 질적으로 다른 학제적(interdisciplinary)·횡적 조직으로 개편되었다.

이후 1987년 국가과학기술회의는 국립시험연구기관의 중장기적 목표에 대한 검토를 실시하여

새로운 기술의 창출을 목표로 한 기초적, 선도적 연구의 강화 및 국제적 대응을 주요 정책목표로 설정하였다. 이에 따른 제 3차 장기계획에서는 연구개발의 기본방침을 산업기반적 연구에서 재료 과학기술의 기반연구로 전환시켰다. 구체적인 연구분야로 신재료의 개발과 재료신뢰성 확립을 2개의 축으로 설정하고 연구소의 역할을 (1) 씨앗형(seed) 연구를 추진하여 지식·기술의 포텐셜을 높일 것 (2) 국가프로젝트 등 공공의 필요에 대응하여 재료연구·개발에 대한 핵심기관으로서 대응할 것 (3) 열린 연구소를 지향하고 연구성과를 제공하여 사회에 널리 공헌할 것을 설정하였다. 이러한 기본방침에 따라 10개의 연구부와 5개의 연구그룹으로 조직을 새롭게 정비하고 중점연구 분야를 설정하였다. 연구부에서는 오로지 재료 과학기술의 요소기술·특성 등 고도의 기술이 요구

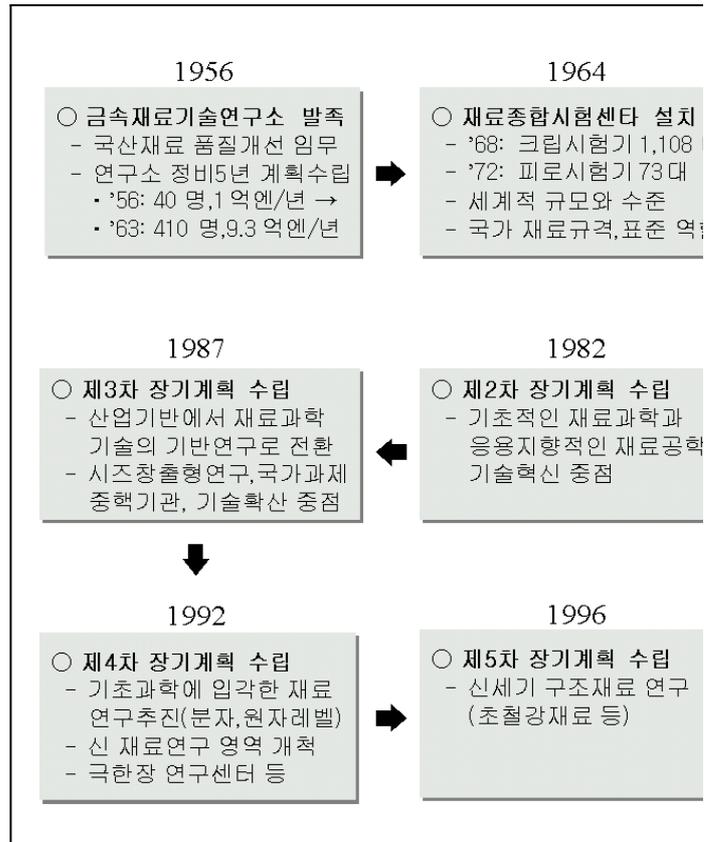


그림 1. 금속재료기술연구소의 기  
되는 전문적인 기반연구를 수행하고, 연구그룹에  
서는 이렇게 배양된 연구 포텐셜을 결집하여 씨  
앗형 연구의 육성, 재료과학기술의 비약적 전개에  
관련된 중요과제의 해결 및 국가프로젝트의 참여  
등 공공의 필요에 대응하기 위한 종합적 연구를  
진행하도록 했다.

### 2.3 금속재료기술연구소의 성장기(쓰꾸바 이 전 후)

제 3차 장기계획에서 메구로 본소와 쓰꾸바 지  
소의 2원 운영체계를 일원화하여 쓰꾸바 지구로  
결집할 필요가 있다는 의견이 강하게 대두되었고,  
1988년 각의의 결정에 의해 연구소 전면 이전계획  
이 수립되었다. 쓰꾸바로 이전작업이 진행되는  
즈음 물질 및 재료과학기술은 기초학문인 물리,

화학, 생물학 등을 서로 결합한 경계영역의 학문으로 급속하게 발달하게 되었다. 또한 측정·제어·해석 및 평가기술 등의 괄목할만한 성장에 의해 물질·재료를 원자, 분자 레벨에서 설계·가공하는 것이 가능하게 되었다. 이는 21세기 재료과학연구의 화두가 되고 있는 나노테크놀로지의 시발점이기도 하다. 이와 같은 재료연구를 둘러싼 환경의 변화와 쓰쿠바 지구로의 전면적 이전을 기회로 기초적·선도적 연구추진에 의한 국제적으로 열린 연구소를 목표로 한 제 4차 장기계획이 1992년 책정되었다. 제 4차 장기계획에서는 “기초과학에 입각한 재료연구의 추진”이 중점적으로 거론되어 재료연구를 기초부터 재인식하여 보다 새로운 재료 연구영역을 개척하고 극한환경에서의 물질·재료의 물성연구를 하는 대형설비를 건설하고 국제적 공동연구체제를 강력하게 추진하기 위해 극한장연구센터 설립을 구상하였다. 이는 이후에 강자장 스테이션, 정밀여기장 스테이션, 극고진공장 스테이션의 3개의 스테이션으로 발전하게 된다.

1995년 금속재료기술연구소는 약 20년 동안의 지속 사업이었던 쓰쿠바 지구로의 이전사업이 완료되어 법적 소재지가 쓰쿠바로 완전히 옮겨지게 되었고, 과학기술청의 중핵적연구거점(Center of Excellence, COE) 육성제도에 극한장연구센터가 대상기관으로 선택되었다. 동년 11월에 과학기술 창조입국을 목표로 한 “과학기술기본법”이 제정되었고, 이에 근거한 “과학기술기본계획”에서는 연구의 기본방향을 (1) 사회적, 경제적 필요에 대

응한 연구개발, (2) 기초연구의 적극적 진흥을 명시하고 있다. 쓰쿠바 이전과 동시에 “새로운 연구소의 창설”을 슬로건으로 내세운 금속재료기술연구소는 이를 바탕으로 제 5차 장기계획을 수립함과 동시에 신세기 구조재료(초철강재료)의 연구개발 추진을 목표로 한 프론티어 구조재료 연구센터 구상을 수립하게 된다. 신세기 구조재료(STX-21) 프로젝트는 기존 철강재료의 “강도 2배화, 인성 2배화”를 슬로건으로 연구인원 140명(산업계 24명, 대학 35명, NRIM 81명)을 투입하여 철강재료의 고강도화, 장수명화 고내식화를 위한 연구를 진행하여 왔으며 2001년 1기 연구를 종료하고 2기로 이행되는 시점에 있다.

### 3. 독립행정법인 물질·재료연구기구의 발족

서론에서 이미 언급한 바와 같이 2001년 4월 1일, 구 과학기술청(2001년 1월부터 문부과학성으로 통합) 산하 금속재료기술연구소(NRIM)와 무기재료연구소(NIRIM)가 통합되어 독립행정법인 물질·재료연구기구(National Institute for Materials Science, NIMS)가 발족하였으며 동경대학교 선단 과학기술연구센터장 및 통상산업성 공업기술원 산업기술융합영역연구소장을 역임한 岸 輝雄(Kishi Teruo)박사가 초대 이사장으로 부임하였다. 이에 따라 NIMS는 비상근 연구원을 포함한 약 1,000명의 인원과 198억엔의 예산을 사용하는 대형 재료 관련 연구소로 새롭게 출발하였다.

표 1. 물질·재료연구기구의 2001년 예산

(단위 : 억엔)

수 입		지 출	
운영교부금	172	프로젝트 연구개발비	73
수탁수입	21	인건비	65
시설정비비 보조금	5	수탁연구경비(외부 경쟁적 자금)	21
잡수입	1	간접경비	18
		중점연구개발비(내부 경쟁적 자금)	9
		특별 시설·설비경비(대형 컴퓨터)	7
		시설비	5
합 계	198	합 계	198

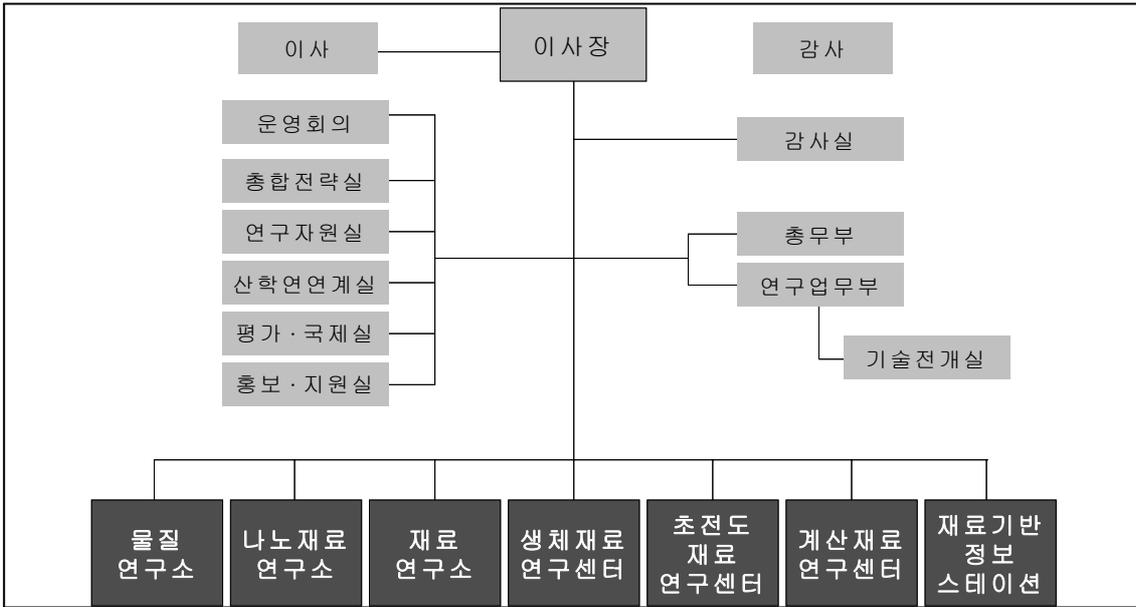


그림 2. 물질·재료연구기구 기구표

표 2. 물질·재료연구기구의 중기계획에 있어서 중점연구개발영역

분야	내용
나노 물질·재료	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 차세대 정보통신기술을 선도하는 재료기술                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 나노소자 신재료 개발에 관한 연구</li> <li>- 결합제어 동력학에 의한 광기능화에 관한 연구</li> <li>- 극한환경을 이용한 새로운 반도체 물질장제·재료화에 관한 연구</li> <li>- 양자기능발현에 관한 연구</li> </ul> </li> <li>○ 혁신적 기술을 선도하는 재료기술                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 나노 스케일 환경에너지 물질에 관한 연구</li> <li>- 초전도재료 연구개발</li> <li>- 미량성분에 의한 고차구조제어기술</li> </ul> </li> </ul>
환경·에너지 재료	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 환경순환사회를 실현하는 재료기술                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 리사이클링 철의 초철강화</li> <li>- 유해화학물질제거촉매의 탐색·창제</li> <li>- 신세기 내열재료 프로젝트</li> <li>- 가공성이 우수한 선진 구조재료 개발에 관한 연구</li> </ul> </li> </ul>
안전재료	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 안전·건강·쾌적한 사회를 실현하는 재료기술                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 신세기 구조재료(초철강)의 연구</li> <li>- 생체재료</li> <li>- 수소기능융합화기술에 의한 안전재료 개발에 관한 연구</li> <li>- 재료의 안전한 사용을 위한 재료 리스크 정보 플랫폼 개발에 관한 연구</li> </ul> </li> </ul>
연구기반·지적기반의 충실	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 연구기반의 충실                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Combinatorial 재료장제에 관한 연구</li> <li>- 전자·광 극미세 응답의 해명과 반도체기능 발현에 관한 연구</li> <li>- 가상실험기술을 활용한 재료설계 통합시스템의 개발</li> <li>- 방사광을 이용한 연구 및 시설설비의 통합적 추진</li> <li>- 인터넷 전자현미경의 연구개발</li> </ul> </li> <li>○ 지적기반의 충실                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 재료데이터시트의 정비</li> <li>- Pre-standard화 사업의 추진</li> </ul> </li> </ul>

NIMS는 기구표에 나타난 것과 같이 물질연구소, 나노재료연구소, 재료연구소의 3개 연구소, 생체재료 연구센터, 초전도재료 연구센터, 계산재료 과학 연구센터의 3개 연구센터와 재료기반정보 스테이션으로 구성되어 있다. 물질연구소와 재료연구소는 각각 무기재료연구소와 금속재료기술연구소의 조직을 중심으로 구성되어 있으며, 나노재료연구소의 경우 통합이전 양 연구소에서 수행되고 있던 나노재료연구 부문이 통합되어 있으며 나노기술이 일본 과학기술기본계획 및 일본신생(新生)계획에서도 중점적으로 추진될 연구분야로 명시되어 있어 나노연구는 향후 그 비중이 더욱 커질 것으로 예상되고 있다.

물질·재료연구기구는 기구발족에 즈음하여 중기목표와 중기계획을 설정하였으며 중점연구영역으로 나노·물질재료, 환경·에너지 재료, 안전재료의 3분야에 역량을 집중할 것임을 명시하고 있다. 이후 중점연구분야에 명시된 연구내용에 대해서 간략히 소개한다.

#### 4. 물질재료연구기구의 중점연구분야

##### 4.1 나노물질·재료 연구분야

###### 4.1.1 차세대 정보통신기술을 선도하는 재료 기술

###### ① 나노소자 신재료 개발 연구

고속·대용량의 고정도 정보처리 시스템 구축 요구에 대응하기 위해 광소자, 광스위치, 전자파소자, 논리연산소자 및 초고주파소자 개발을 위한 새로운 나노소자 재료개발

- 광소자 재료 : 적외광발진연속 왓트급 광파장변환의 실현, 현재 10GHz인 광변조속도의 10배화 달성, 전광파장선택소자의 실현을 시도

- 광스위치 재료 : 금속나노입자의 매질내 분산·평가에 의해 현재의 광스위치소자의 정보처리속도 10GHz를 전광화 1THz급으로 발전시키기

위해 필요한 재료기술을 개발

- 전자파소자 재료 : 현재 전자선 노광기술에서 100nm가 한계인 미세가공능력을 훨씬 넘어선 1nm 수준의 단일회로 패턴의 제작 및 평가기술 개발

- 논리연산소자용 재료 : In-situ 결정성장 제어기술의 확립에 의해 5nm 수준의 대량의 소자패턴을 미세가공기술에 의하지 않고 제작하기 위해 필요한 재료기술의 가능성을 탐색

- 고주파소자 재료 : 조셉슨접합의 나노수준 소자설계가공과 동작특성의 관계 해명에 의해 통신주파수를 현상태인 GHz급에서 THz급으로 혁신하기 위해 필요한 재료기술의 가능성을 탐색

② 결합제어 동력학에 의한 광기능화 연구 추진 전기광학효과, 비선형광학효과 등이 우수한  $\text{LiNbO}_3$ ,  $\text{LiTaO}_3$ 를 대상으로 하여 초고밀도, 초고속전송기술 또는 초대용량기억매체 등의 광기능소자재료에 응용하기 위해 실효적인 광기능특성의 발현을 저하시키는 결정 내에서의 결합의 동력학적 거동을 규명한다. 이에 의해 종래의 재료에 비해 진성결함을  $10^{18}/\text{cm}^3$ , 불순물을 0.1ppm으로 저감시켜 광파장변조효율을 2배이상으로 개선한다.

###### ③ 극한환경하의 새로운 반도체물질의 창제 및 재료화 연구

「초고압력」 「초고온」 「초미세」의 극한환경을 함께 이용하여 반도체 다이오드와 같은 새로운 반도체물질 및 고밀도물질 등의 탐색, 창제 및 해석을 실시한다. 이에 의해 세계 최고 수준의 극한환경이용기술개발을 달성함과 동시에 pn 접합에 의해 적외선을 발광하는 고품질 반도체 다이오드 박막다이오드 창제기술을 확립한다.

###### ④ 광기능 입자성 결정개발

고효율 레이저소자나 초소형 파장선택소자 등의 광정보통신기술을 위한 새로운 광소자용 소재

개발연구의 일환으로 미립자를 구성단위로 하는 결정인 「입자성 결정」의 개발에 관한 연구를 실시하여 중기 목표기간 중에 적어도 1축방향이 1cm인 단결정 제작기술을 달성한다.

⑤ 양자기능발현 연구

인공격자구조, 동위체, 양질의 단결정 제작기술의 고도화에 의해 새로운 재료를 개발하여 이러한 재료들이 나타내는 양자발광현상, 양자중첩현상 등의 새로운 양자효과를 탐색, 규명, 제어한다. 또한 자성체의 근원인 전자간의 영자역학적 교환상호작용 그 자체를 제어하여 자성재료에서의 양자기능성을 추구하고 새로운 자기능성을 실현한다. 또한 새로운 재료개발의 이론적 지침을 확립하기 위하여 양자의 동적과정을 지배하는 메커니즘을 통일적으로 규명한다. 2003년까지 양자기능을 갖는 신규재료의 탐색, 미소영역 핵자기공명현상의 측정, 미세가공기술·양자자기특성의 규명, 수치해석·동적과정의 관찰을 수행하고 2004년부터 양자효과의 탐색, 제어확립을 수행한다.

4.1.2 혁신적 기술을 선도하는 재료기술

① 나노스케일 환경에너지물질에 관한 연구 추진  
 환경정화나 태양에너지의 효율적인 활용에 적용되는 신소재를 실현하기 위해 산화물이나 비산화물 등 무기계 물질의 나노튜브, 나노와이어, 나노박리판재, 나노복합입자 등 유연하고 다양한 형태를 갖는 나노스케일의 물질을 개발한다. 또한 이를 나노레벨에서 조직화시켜 각각의 소재가 갖는 기능의 집적 또는 혼성효과를 이용한 신재료를 개발하고 이에 의해 10종류이상의 나노스케일 물질을 개발한다. 또한 약 20%의 에너지 저장효율을 갖는 광축전형 전기화학소자를 개발한다.

② 새로운 초전도체의 연구개발

금속계 Nb<sub>3</sub>Al, 산화물계 BSCCO, 신금속계

MgB<sub>2</sub> 등을 대상으로 임계전류밀도를 지배하는 나노미터 레벨에서의 조직·구조제어를 실시하고, 강자장 초전도자석에 응용하기 위해 보다 고감도의 1GHz급 NMR이나 MRI에 적용할 수 있는 초전도선재를 개발한다. 또한 초전도재료는 신재료의 발견이나 신기능의 발현에 의한 새로운 용도 개발의 보고이므로 탐색·기초물성해석 등의 기반연구를 종합적으로 실시한다.

③ 미량성분에 의한 고차구조제어기술의 개발

산화물 세라믹스의 재료개발에 있어서 복수의 첨가물의 작용을 유기적으로 조합하여 고차구조를 제어함으로써 레이저재료, 고감도 검출기 등의 광학재료, 액체에 가까운 전기전도도를 갖는 고체 전해질 등의 개발을 목표로 한다. 구체적인 목표로는 700℃에서 8mol% Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-ZrO<sub>2</sub>에 비해 2배의 전기전도도(0.6 Scm<sup>-1</sup>)을 갖는 새로운 고체전해질을 개발한다.

4.2 환경·에너지재료

① 리사이클링 철의 초철강화

철강의 리사이클링 과정에서 불가피하게 혼입되는 불순물원소의 유효이용기술을 개발하여 정련단계에서의 환경부담 저감과 사용단계에서의 환경부담 저감을 동시에 달성한다. 이에 의해 현행기술로 얻어지는 회생재를 원료로 한 리사이클링 철의 강도 1.5배화를 달성한다.

② 유해화학물질제거 촉매의 탐색·개발

생활공간으로 날아오는 미량의 다이옥신 등 유해화학물질을 효과적으로 제거할 수 있는 광촉매 재료를 개발하여 초기 농도의 수십 분의 일 이하로 저감시킬 수 있는 정화기술을 구축한다. 또한 다이옥신의 다양한 동족체 등에 효과적으로 대처하기 위해 촉매재료를 종래에 비해 100배 이상 신속하게 탐색할 수 있는 촉매재료의 고속, 고효율적인 합성법 및 평가법을 구축한다.

### ③ 신세기 내열재료 프로젝트

초고효율 복합발전 등, CO<sub>2</sub> 배출량의 대폭 삭감이 가능한 고효율 에너지 시스템의 개발, 차세대 제트엔진, 고성능 로켓트 등의 선진 파워엔지니어링 기술을 개발한다. 재료설계, 조직구조해석 등을 근간으로 내용온도 1,100°C의 Ni기 초합금, 내용온도 1,500°C의 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>계 세라믹소재, 내용온도 1,800°C인 고용점 초합금을 개발한다. 또한 가스터빈 제작사와 협력하여 초고온 가스터빈의 실험과 실기실증실험을 수행한다.

### ④ 가공성이 우수한 선진 구조재료의 개발

금속간화합물이나 세라믹스 재료는 고에너지 효율증대 구조재료 등 구조물의 고효율화·고성능화를 위해 요구되는 경량의 우수한 고온특성을 나타내는 재료이다. 이러한 선진 구조재료에 의해 경량내열구조체 실현에 필요한 재료학적 요소기술 개발을 수행한다. 이제까지 불가능했던 대형 Ni<sub>3</sub>Al 잉고트의 냉간압연기술 및 Honeycomb 구조체 제작기술개발, 600~1000°C에서 사용가능한 경량 Ti<sub>2</sub>AlNb 재료의 개발, 10<sup>-3</sup>~10<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>의 고속 변형영역에서 초소성특성을 나타내는 세라믹재료 개발을 수행한다. 또한 분자동력학법에 의해 취화역제를 위한 원소탐색을 실시함과 더불어 역학특성예측 전산모사기술을 개발한다.

## 4.3 안전재료

### ① 신세기 구조재료 (초철강재료) 연구추진

초철강 제 1기 연구에서 발견한 연구원리를 발전시켜 철강재료의 고강도화·장수명화를 추진한다. 고강도화에서는 후판제조기술을 확립하여 용접구조물의 강도 2배화를 달성한다. 또한 마르텐사이트조직을 갖는 보다 복잡한 부품제조기술을 확립하여 피로강도 2배화를 실증하고 180kg급에서도 피로파괴를 일으키지 않는 고강도 볼트를 실증한다. 한편 장수명화에서는 장기간조직안정화를 기조로 하여 초초임계압 조건에서 사용할 수

있음을 실증하고 구조물 모형체를 시공제작하여 건설용 내식강의 수명 2배화를 실증한다.

### ② 생체재료

고령화사회·고도의료사회에서 요구되는 재료개발, 특히 변형성 관절염이나 동맥경화 등의 질병에 대응하기 위해서 운동계 기능과 순환계 기능을 회복시키는 새로운 생체재료의 탐색과 개발을 수행한다. 이에 의해 운동계 조직을 3개월 내에 치유하는 재생의학재료의 창출(고령자의 사회복귀) 및 탄성과 강성을 겸비한 순환기계 질환치료 재료의 창출(저침투성 치료법)을 달성한다.

### ③ 기능융합화 기술에 의한 안전재료 개발

대형 구조물이나 복합화된 각종장치의 안전성·신뢰성을 현저히 향상시키기 위해 안전성·신뢰성에 관계된 기본적인 기능을 재료 본래의 각종 기능에 융합시킨 기술개발과 융합적인 기능을 갖는 보다 안전한 재료를 개발한다. 특히 구조재료로서 충격안전성이나 제진성이 우수한 초경량 수송기기용 재료, 온도상승과 공응력부하상태에서 작동하는 대형 철계 형상기억합금 및 손상을 자기복구하는 내열강 등 사용환경에 적응하는 재료를 개발한다. 또한 기능재료로서 기능융합화 기술로 입자어셈블리기술, 다층막 제작기술, 미세가공기술을 개발하여 전류·온도 자기제어 재료, 다기능보호소자재료, 발광소자 등 고기능성화로 이어지는 포토닉스 결정을 개발한다. 또한 박막화 기술에 의해 액튜에이터 기능과 기계적성질이 우수한 미소기계용 TiNi계 형상기억합금박막을 개발한다.

### ④ 재료의 안정적인 사용을 위한 재료위험(risk) 정보플랫폼 개발

재료의 안전한 사용방법이나 재료선택을 지시할 수 있고 플랜트 설계자나 운전보수관리자, 재료개발자를 지원하는 재료위험정보 플랫폼개발을 수행한다. 구체적으로는 화력발전플랜트 등을 모

델 케이스로 하여 실용적인 재료수명예측식을 제안, 허용응력·재료사용사례·극한환경에서의 재료강도에 관한 데이터베이스 작성, 보수·운용을 위한 설비진단지원 시스템의 개발을 수행하고 사회위험수용 조사연구성과와 함께 이를 연구요소로 서버모듈을 통합한 플랫폼을 개발하여 위험평가에 기초한 정도가 향상된 범용적인 재료안전평가법을 확립한다. 또한 관계자의 사용으로 그 유용성을 검증하고 성과물인 플랫폼과 데이터베이스를 인터넷에 공개한다. 실용적인 재료의 수명예측식, 재료사용사례 데이터베이스, 설계진단지원 시스템에 대해서는 주로 민간의 비용부담을 원칙으로 하여 정비한다.

## 5. 물질재료연구기구의 연구·지적기반 구축 계획

### 5.1 연구기반의 구축

#### ① Combinatorial 재료개발

미래의 과학기술이나 산업에 임팩트를 주는 물질·물성의 발견 또는 이의 실용재료화나 신기능의 소자개발을 가속적으로 추진하는 연구방법개발을 목표로 combinatorial 화학의 개념을 세라믹스합성에 적용하기 위한 기본개념을 구축하고 각종 반응방법에 적용하여 종래에 비해 100~1000배 고속, 고효율적인 합성프로세스를 확립한다. 이에 의해 반도체재료나 각종 기능성 세라믹스 또는 새로운 소자 등의 개발을 목표로 기반기술을 개발한다.

#### ② 전자·광 극세응답의 규명과 반도체기능 발현에 관한 연구

나노미터 크기의 미세구조에 의해 고기능화된 재료의 제반 특성을 탐색하기 위해 나노스케일 영역의 전자·광 여기를 이용한 물질의 정밀계측기술을 개발한다. 검출한계는 공간분해능 50nm, 검출속도는 종래의 100배를 목표로 한다. 개발한 기술을 이용하여 반도체재료를 중심으로 광·전자

변환기능을 이론적으로 규명하고 신기능을 탐색한다. 구체적으로 나노구조 결정결함을 이용한 광반도체소자의 개발에 노력한다.

#### ③ 가상실험기술을 활용한 재료설계통합시스템 개발

현재 일부 전문가만이 이용하고 있는 계산재료과학의 성과를 보다 광범위하게 재료개발의 현장에서도 용이하게 이용할 수 있는 환경을 구축한다. 이에 의해 재료연구나 신규재료의 개발 시 개발기간의 단축, 개발비용의 삭감(현재의 1/2~1/3)이 가능하도록 한다. 구체적으로는 재료개발연구나 신규재료의 개발을 위해서 기존에 개발되어 이용되어온 계산재료과학용 각종 프로그램을 비전문가도 간단히 이용 가능하도록 유기적으로 통합한 통합응용시스템의 개발 및 user-interface 개발을 수행한다. 2003년까지 전체 시스템의 개발을 수행하고 그 후 시스템의 유용성을 검증하여 인터넷에 공개한다. 이에 병행하여 최신의 계산재료과학에 기초한 응용모듈을 개발·검증하여 순차적으로 시스템에 조합한다. 이 시스템에서는 슈퍼컴퓨터 사이를 고속 네트워크로 접속시킨 ITBL을 활용한다.

#### ④ 방사선을 이용한 연구 및 시설정비의 종합적 추진

고기능재료의 개발에서는 해석·평가기술을 보다 정밀하고도 미세한 방향으로 발전시켜 재료개발의 지침이 되는 고도의 양질의 해석정보를 얻고 축적하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 제 3세대 광원으로 Spring-8에 건설된 전용빔라인을 이용하여 새로운 재료해석기술의 확립을 목표로 한다. 중기목표기간 중에는 빔라인을 정비하여 고휘도광에너지영역(0.5~60keV 영역에서  $10^{10}$  photon/sec 단색광이 얻어짐) 빔라인의 기본 요구를 달성하고 에너지분해능 0.3eV, 공간분해능 10nm 이하의 고분해능 광전자현미경 및 방사광을 이용한 신재료의 개발을 위한 조사실험장치를 완성한다.

### ⑤ 인터넷 전자현미경의 연구개발

전자현미경은 선단재료의 개발, 실용재료의 불량·고장해석, 물질의 구조규명 등에 매우 유효한 실험수단의 하나임에도 불구하고 고가이고 신중한 정비가 필요하기 때문에 광범위한 이용이 가능하지 않다. 외부와의 공동연구 등이 신속하고 효율적으로 진행되도록 인터넷에 의해 세계의 어디에서도 기구의 연구자와 외부의 연구자가 접속하여 고성능의 전자현미경을 조작하여 실험, 데이터 취득이 가능한 신호전송기술개발 및 조작단말기를 개발한다. 그리고 이를 설치한 범용 투과전자현미경, 주사전자현미경, 실물시료용 주사전자현미경을 순차적으로 기구에 설치한다. 또한 외부에 조작단말을 설치하여 공동연구를 실시함과 함께 공동이용에 제공하도록 한다. 전자현미경이용에 있어서 중요한 시료의 조정은 외부이용자가 보내온 시료를 기구의 역광을 활용하여 분석한다.

### ⑥ 선단적 연구설비에 의한 연구시설

그 외에 기구는 물질·재료연구의 핵심기관으로 민간이나 대학에서는 구비하기 어려운 극한조건을 발생시키는 연구설비, 고도의 분해능을 갖는 연구설비 등의 선진적 연구설비의 도입·고도화를 꾀하여 최선단의 연구성과를 얻음과 동시에 선단재료연구설비, 재료강도연구설비에 대해서 국내외의 연구기관과의 공동이용을 위한 환경을 충실히 정비한다.

## 5.2 지적기반의 구축

### ① 재료 데이터시트의 정비

재료기반정보를 전략적, 장기적으로 생산해 나간다는 입장에서 세계적으로 매우 높이 평가받고 있는 크리프, 피로에 더하여 부식 데이터시트 정비사업을 계속적으로 추진한다. 크리프에 대해서는 10만 시간 크리프-파단 데이터 중심의 종래의 데이터시트에 10만 시간 금속조직사진집, 10만 시간 크리프-변형률 데이터시트를 더하여 출판하는

것을 목표로 한다. 피로에 대해서는  $10^{10}$ 회 장기 상온피로나  $10^6 \sim 10^7$ 회 장기고온피로 데이터시트의 출판을 부식에 대해서는 대기노출부식 및 해수노출부식 데이터시트의 출판을 목표로 한다.

### ② Pre-Standard화 사업의 추진

신재료의 응용·실용화에 필요한 새로운 평가방법의 개발과 국제적인 표준화를 계속 추진한다. 극저온에서의 구조재료의 강도특성평가법, 고온취성재료, 금속기복합재료, 박막재료의 강도특성평가법 등 신뢰성 있는 각종 평가법을 VAMAS나 ISO 등에 제안하는 것을 목표로 한다. 이러한 표준화작업에서 공적중립기관으로서의 지도능력을 발휘해 재료정보의 핵심적 기관으로서의 임무를 달성한다.

## 6. 물질재료연구기구의 주요 경영목표

### 6.1 씨앗형(seed) 연구의 중시

차기 프로젝트 등의 밑바탕이 되는 연구, 선도적이고 위험이 큰 연구를 기구 내의 공모에 의해 경쟁적 환경 하에서 씨앗형 연구의 형태로 수행하여 연구의 활성화를 도모하고 있다. 연구는 비교적 소수의 인력으로 실시하고 기간은 2~5년으로 하며 평가는 내부평가에 의하여 결정하며 이러한 씨앗형 연구에 대한 실시요령과 평가방침을 명확히 결정하고 연구성과의 논문발표는 년평균 2건/인을 목표로 하고 있다.

### 6.2 공모형 연구의 제안과 수탁연구의 도입

기구의 연구개발능력을 기반으로 스스로 신규 연구과제를 제안하여 문부과학성(원자력시험연구 위탁비, 과학기술진흥조정비 등), 경제산업성, 환경성 등의 정부기관, 과학기술진흥사업단 등의 각종 단체 및 민간기업·재단이 실시하는 경쟁적 환경하의 공모형연구에 대해서 신규과제제안을

적극적으로 실시함을 계획하고 있다. 또한 기구는 물질·재료분야에 있어서 핵심적 연구기관으로서 선단적·선도적 연구에서 재료의 안정성·신뢰성의 평가, 신뢰성 확립의 연구에 이르기까지 광범위한 분야에서 국가적·사회적 요청에 기초한 수탁연구를 적극적으로 수탁하여 매년도 전년대비 5% 증가한 외부자금을 획득하는 것을 목표로 하고 있다.

### 6.3 연구성과의 보급 및 성과의 활용

#### 6.3.1 연구발표

외부로의 연구성과를 전달하기 위해 학·협회 등에서의 발표를 적극적으로 실시함과 동시에 논문발표 수를 연구자 1인당 연 평균 2건으로 하는 것을 목표로 하고 있으며(과거 5년의 연구자 1인당 연평균 실적 1.78건) 또한 다양한 국제심포지엄, 연구성과발표회 등을 적극적으로 개최함을 계획하고 있다.

#### 6.3.2 기술이전의 촉진

새로운 산업창출을 목적으로 기구를 활성화시켜 기술이전을 촉진하기 위하여 국내·국외를 합쳐 연평균 160건 이상의 특허를 출원하고(과거 5년의 실적 119건/년) 중요성이 큰 사업은 프로젝트화하여 성과를 실용화함과 더불어 특허취득을 위해서 과학기술진흥재단 등의 제도를 활용함을 목표로 하고 있다.

#### 6.3.3 설비의 공용화

정비된 연구시설 중 대형설비 등을 중심으로 외부의 재료관련 연구에 널리 공동이용 될 수 있는 체제를 정비하고 특히 강자장 설비, 인터넷 전자현미경의 이용을 촉진하고 강자장연구에 대해서는 타 기관과의 공동연구의 형태로 연 평균 80

건의 사용을 도모함을(공용화 개시 직후 과거 3년간의 실적 68건/년) 목표로 하고 있다.

### 7. 맺음말

이상에서 물질재료연구기구의 발족 이전의 금속재료기술연구소의 발자취와 물질재료연구기구 발족 후 새로이 정립된 중점연구영역에 대해서 소개하였다. 일본과 우리나라는 발전해온 경제, 사회적 배경이 다를 뿐만 아니라 과학기술 수준에서도 현저한 차이를 보이고 있다. 이상에서 살펴본 것과 같이 일본 재료관련 국가연구소의 연구방향은 전후 국내산업을 발전시키기 위한 역할에서, 이후에는 국제경쟁력 강화를 위한 기초 및 기반연구체제로 진화하였다. 즉, 산업발전의 기여와 더불어 세계적으로 내세울 수 있는 leading-edge의 과학기술발전을 담당하는 역할을 하여왔고 이에 부응하여 많은 세계적인 성과를 내기도 하였다. 특히 Bi계 초전도체 개발, 세계 최강의 강자장 발생장치 개발, 제 4세대 단결정 Ni기 초내열합금 개발, 초철강 프로젝트 등 세계 최초 또는 최고라는 수식어가 따른 연구를 많이 수행하여 왔다. 또한 연구소 내의 많은 연구자들이 실용화보다는 세계최고수준의 데이터(일본에서는 흔히 Champion data라 함)를 생산하여 특허보다는 Nature나 Science지에 자신의 논문이 게재되는 것을 자랑스럽게 생각하는 경향이 있었던 것도 부인할 수 없는 사실이다.

금속 및 세라믹재료 관련 연구소로서 실험설비와 연구성과 면에서 세계적인 명성을 축적해왔던 두 연구소의 통합과 독립법인화는 일견 지금까지 많은 문제점이 지적되어 왔던 관료주의적 연구시스템을 해소하고 연구추진체계의 합리화, 간소화를 꾀할 수 있을 것으로 보이고 나노테크놀로지 및 생체재료로 대표되는 경계영역학문 및 계산재료학에서의 선두자리를 유지할 수 있을 것으로 보인다. 하지만 경쟁적 연구비의 획득, O/H의 증가 및 인센티브 도입 등 우리에게는 익숙한 용어

가 일본 내 연구자들에게는 아직까지는 피부에 닿지 않는 생소한 용어인 것처럼 보인다. 한국기계연구원 및 국내 정부출연연구소와 많은 교류를 쌓아왔던 물질·재료연구기구가 향후 어떻게 변화에 나갈지 그 귀추가 주목된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 금속재료기술연구소연보, 창립40주년 기념특집호, 1997.
- [2] NRIM Research Activities, 2000.
- [3] 독립행정법인 물질·재료연구기구 중기계획, 2001.
- [4] 독립행정법인 물질·재료연구기구 중기목표  
([www.nims.go.jp/nims/former/mission/aim.htm](http://www.nims.go.jp/nims/former/mission/aim.htm))
- [5] 독립행정법인 물질·재료연구기구 平成 13년도 년도계획, 2001.
- [6] NIMS NOW, Vol.1, 2001.