

2014년 일본의 나노기술 정책 동향

나노기술 · 정책보고서 2014. 3.

강상규, 이하영, 배성훈, 안순화



첨단 핵심기술인 나노기술은 융합을 통해 미래성장동력산업으로 변화하면서, 지난 10여 년 동안 비약할 만한 성과를 달성하는 등 경제발전에 중요한 추진력이 되고 있습니다.

최근 일본은 나노기술을 통해 사회수요를 해결하고 연구개발성과를 상업화하려는 뚜렷한 목적형의 정책개발을 바탕으로 안전하고 지속가능한 나노상용화 플랫폼을 구축하는데 힘쓰고 있습니다.

또한, 제조분야의 경우, ‘소재입국 재생’을 목표로 나노기술 정책 및 R&D 프로그램 등의 전략적 창조연구를 지속적으로 추진하고 있습니다.

이에 본 보고서는 2013년 일본 정부에서 추진하는 나노분야의 주요 시책과 나노안전 프로그램 등을 통해 신산업창출 및 제조 선진국의 경쟁력을 유지하고 있는 일본의 국가 전략 및 관련 R&D 프로그램을 살펴보고자 합니다.

이를 통해, 나노기술 분야의 주요국인 일본의 나노기술정책을 파악하여 국내 나노기술 관련 정책을 국제적 수준으로 도약하는 데 기여하고자 합니다.

끝으로 보고서 집필에 참여한 국가나노기술정책센터 강상규 책임연구원, 이하영 선임연구원, 배성훈 선임연구원, 안순화 박사의 노고에 감사드리며, 여기에 수록된 내용은 집필진의 의견으로 국가나노기술정책센터의 공식의견은 아님을 밝혀드립니다.

2014. 3

국가나노기술정책센터
센터장 김 창 우



제1장 일본의 나노기술 정책	1
1. 일본의 제4기 과학기술기본계획 추진 배경	1
2. 나노기술·재료 영역	2
3. 나노분야 정부투자 예산	3
제2장 나노관련 주요 연구개발 프로그램	4
1. ‘소재입국 일본’의 재생	4
2. 전략적 창조연구추진사업	12
제3장 인프라	25
1. 나노기술 플랫폼	25
2. 츠쿠바 이노베이션 아리나 나노기술거점(TIA-nano)	27
제4장 인재양성	29
1. 산학연제휴 인재육성 프로그램(HONORS)	29
2. 오사카대학 나노고도학제 교육연구 훈련프로그램	34
제5장 나노 안전(EHS)	43
1. 일본의 EHS 대응 배경	44
2. 일본의 EHS 관련 동향	48
3. 나노물질 규제 동향	55
제6장 시사점	64
참고문헌	66



<표 1-1> 문부과학성 과학기술 예산	4
<표 3-1> 6개의 핵심 연구영역	30
<표 3-2> 3개의 핵심 인프라	30
<표 5-1> 주요 나노물질의 용도와 특성	45
<표 5-2> 나노물질 정보 수집·발신 프로그램	58
<표 5-3> 나노물질의 리스크 평가 스케줄	62



<그림 1-1> 과학기술관계예산(당초) 분야별 추이	3
<그림 2-1> 나노기술 플랫폼 참여기관(총 25개 기관)	7
<그림 2-2> 전략적창조연구추진사업과 ERATO 체제	15
<그림 2-3> CREST 사업 흐름	20
<그림 2-4> 사키가케 체제	23
<그림 2-5> ACCEL의 특징	25
<그림 4-1> HONORS 프로그램 체계	31
<그림 4-2> 나노기술 사회수용 특론 강의 모습	39
<그림 5-1> 일본의 나노기술 사회수용에 관한 프로젝트	49
<그림 5-2> 나노물질 정보수집 발신 프로그램 실시체계	57

제1장 일본의 나노기술정책

일본은 제조분야의 선진국으로서 나노기술 분야에서 높은 경쟁력을 유지하고 있다. 이는 일찍부터 나노기술·재료분야를 국가전략기술로 선정하여 연구개발 등에 막대한 규모의 투자를 꾸준히 해온 결과이다. 또한, 탄소나노튜브와 선크림에 널리 이용되고 있는 대표적 나노소재인 이산화티탄, 산화아연 등의 대량 생산국이기도 하다.

따라서 세계 기술 선도국을 유지하고 있는 일본의 나노·재료분야에 대한 국가정책과 전략을 파악하여 한국의 나노기술정책 수립 시 기초자료로 활용하고자 한다.

1. 일본의 제4기 과학기술기본계획 추진 배경

점점 더 격화되고 있는 글로벌 경쟁에서 승리하기 위해 과학기술프로그램의 연구성과로부터 어떻게 혁신을 이끌어내어 새로운 산업창출로 이끌어 나갈 것인지, 또 그러한 과정에서 소요되는 시간을 어떻게 단축할 것인지에 대한 세계 각국 정부의 고민은 점점 깊어지고 있다.

이에 대해 일본 정부는 과제해결형(과제달성형)을 선택하였으며, 이를 효율적으로 추진하기 위해 과학기술정책에서 더 나아가 과학기술과 혁신의 일체화 정책을 추구하고 있다.

제4기 과학기술기본계획은 제3기 과학기술기본계획에서 4개의 중점과학기술(라이프, 정보통신, 환경, 나노기술·재료) 중점화전략으로부터 사회의 수요

에 대응하는 전략으로 전환을 의미한다.

사회적 수요에 대한 구체적 과제는 에너지의 안정적 공급과 저탄소사회 실현을 도모하는 그린 이노베이션의 추진, 고령화 사회에 대비하여 의료·보건·건강을 대상으로 하는 라이프 이노베이션의 추진, 그리고 재해로부터의 복구·재생의 실현이다.

이것이 3대 전략이며, 나노기술·재료 및 정보통신기술은 이들 3대전략의 공통기반기술로 구성되어있다.

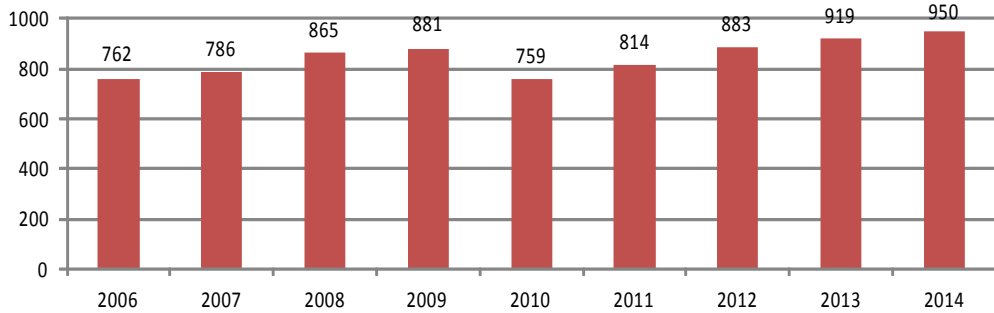
2. 나노기술·재료 영역

제4기 과학기술기본계획에서는 제3기 과학기술기본계획에 대한 반성으로 나노기술·재료 영역의 특성이 개선되었는데, 과학기술 중점영역형(bottom up)으로부터 사회적 수요에 대응하는 과제해결형(top down)으로 정책의 전환이며, 그 중 나노기술·재료영역은 정책의 3대 중심축 횡단영역이다.

제4기 과학기술기본계획에서는 나노기술·재료영역이 독립계획으로 설정되지 않았으며, 2011년 이후 범부처적 주요 계획으로 전략화 된 미국의 NNI와는 다른 부분이다.

3. 나노분야 정부투자 예산

일본 나노기술 분야의 정부투자 예산 추이를 보면 포화상태에 달했음을 알 수 있다. 2000년대 전반과 후반 4~5년간의 투자액 증가율을 보면, 미국 73%, EU 49%, 독일 33%, 한국 126%, 타이완 24% 증가한 데 비해 일본은 5% 증가에 그쳤다.



<그림 1-1> 나노기술예산(당초) 분야별 추이

출처: 일본 내각부(2013.12)

<표 1-1> 문부과학성 과학기술예산

구분	2012년도 예산액	2013년도 예산액(안)	전년대비 증감	전년대비 증감율
과학기술전분야	1조210억 엔	9,873억 엔	△337억 엔	△3.3%
나노기술·재료분야	883억 엔	919억 엔	36억 엔	4.1%

출처: 문부과학성(2013.12)

그러나 과제해결형 정책으로 전환되어 독립된 나노기술·재료 분야의 전략은 없지만 나노기술·재료 관련 시책은 다양하게 추진되고 있다.

나노기술재료분야의 정부투자 예산은 2013년 918,533억 엔으로 2012년에 비해 36억 엔(4.1%)이 증가하였다. 그러나 2014년은 전체과학기술예산의 성장 둔화로 950억 엔 정도로 4% 이내의 증가가 예상된다.

제2장 나노관련 주요 연구개발프로그램

1. '소재입국 일본'의 재생

1) 배경

일본이 강점을 지닌 나노기술·재료 분야는 기간산업(자동차, 전자 등)을 비롯해 모든 산업의 기술혁신을 지원하며 일본의 성장 및 국제경쟁력의 원천이 되고 있다.

최근 선진국과 중국을 비롯한 신흥국들의 전략적인 투자로 인해 국제경쟁력이 격화되고 있는 상황에서 일본은 지금까지 축적해온 기술적·인적 가능성을 최대한 활용하여 정부 주도적인 경제부흥을 추구하고 있다.

2) 구체적인 시책

가. 희소원소 대체 재료 개발

그린이노베이션 원소전략 프로젝트 <연구거점 형성형>

(2013년도 예산액 23억 엔, 2012년도 보정예산액 17억 엔)

일본은 자원제약을 극복하고 산업경쟁력을 강화하기 위해 희토류 등의 희소원소를 쓰지 않는 혁신적인 대체재료를 개발하고자 한다.

이 프로젝트는 문부과학성의 대학·공적연구기관 등이 참여하고 있는 원소전략 프로젝트와 경제산업성의 기업 등이 참여하고 있는 미래개척 기술실현 프로젝트이며, 전담 사업단을 설치하고 기초부터 실용화까지 전주기적 연구개발을 지원한다.

※ 원소전략 프로젝트

- 2007년부터 시작된 원소전략프로젝트는 산·관·학 제휴를 통해 실용화까지 전개하는 전 주기적인 연구프로젝트이다. 기존 연구실 수준의 연구성과는 2~3년 지나면 캐치업 당하는 실정이므로 항상 앞서나가기 위해서는 국가전략으로 중요한 고성능 재료의 개발과 국제적으로 높은 수준을 유지하기 위해 학계를 재구성하여 새로운 접근방식의 도입이 필요하다는 인식에서 출발하였다.
- 이 프로젝트는 협동이 어려운 재료 개발과 전자이론을 거점형성이라는 틀로 강력한 제휴를 도모하는 것이다. 거점은 각기 다른 전문분야의 젊은 연구자들이 아이디어와 문제의식을 교환하며 논의를 통해 원리규명에서 재료개발, 기능실증에 대해 각기 다른 단계에 속하는 복수의 과제를 병행해서 추진한다. 또한 세계최고성능을 자랑하는 슈퍼컴퓨터, 방사광시설, 중성자시설 등의 첨단해석방법을 추구한다.
- 원소전략 프로젝트의 대상영역은 크게 ① 자성재료, ② 촉매·전지재료, ③ 전자재료, ④ 구조재료로 나뉜다.

나. 최첨단 장치를 공유한 연구기반 강화

그린, 라이프 기반 나노기술플랫폼

(2013년도 예산액 18억 엔, 2012년도 보정예산액 150억 엔)

나노기술 관련 최첨단 연구설비와 이의 활용에 노하우를 가진 기관이 전국적인 공용체제를 구축하여 산·관·학의 이용자에 대해 최첨단 설비와 고도 기술지원을 제공한다.

※ 네트워크 참가기관 <◎중핵기관 ○제휴기관>

- △ 「홋카이도 이노베이션창출 나노가공·계측지원 네트워크」
- ◎ 홋카이도대 ○ 치토세과학교술대 나노계측·분석/초미세가공 집속이온빔장치 등

- △ 「나노기술융합지원센터 이노베이션창출지원사업」
- ◎ 도호쿠대 나노계측·분석/초미세가공/분자합성/극한환경 무냉매 하이브리드 마그네트 등

- △ 「NIMS 나노기술거점」
- ◎ 물질·재료연구기구 ○ 도요대(東洋大) 센터기능/나노계측·분석/초미세가공/극한환경 930MHz 고분해능 NMR 등

- △ 「교토·첨단나노기술종합지원네트워크」
- ◎ 교토대 ○ 호쿠리쿠첨단과학기술대학원대, 나라첨단과학기술대학원대 나노계측·분석/초미세가공/분자합성 극저온 투과형 전자현미경 등

- △ 「나노프로세싱·파트너십·플랫폼」
- ◎ 산업기술종합연구소(AIST) 나노계측·분석/초미세가공/전자선묘화장치

- △ 「와세다대학 맞춤 나노조형·디바이스평가지원사업」
- ◎ 와세다대학 나노계측·분석/초미세가공 정밀메트로닉스장치 등

- △ 「초미세 리소그래피·나노계측거점」
- ◎ 도쿄대 나노계측·분석/초미세가공 가변정형 빔전자선 묘화장치 등

- △ 「오사카대 복합기능 나노파운드리」
- ◎ 오사카대 나노계측·분석/초미세가공/분자합성 초고압 전자현미경(H-3000) 등

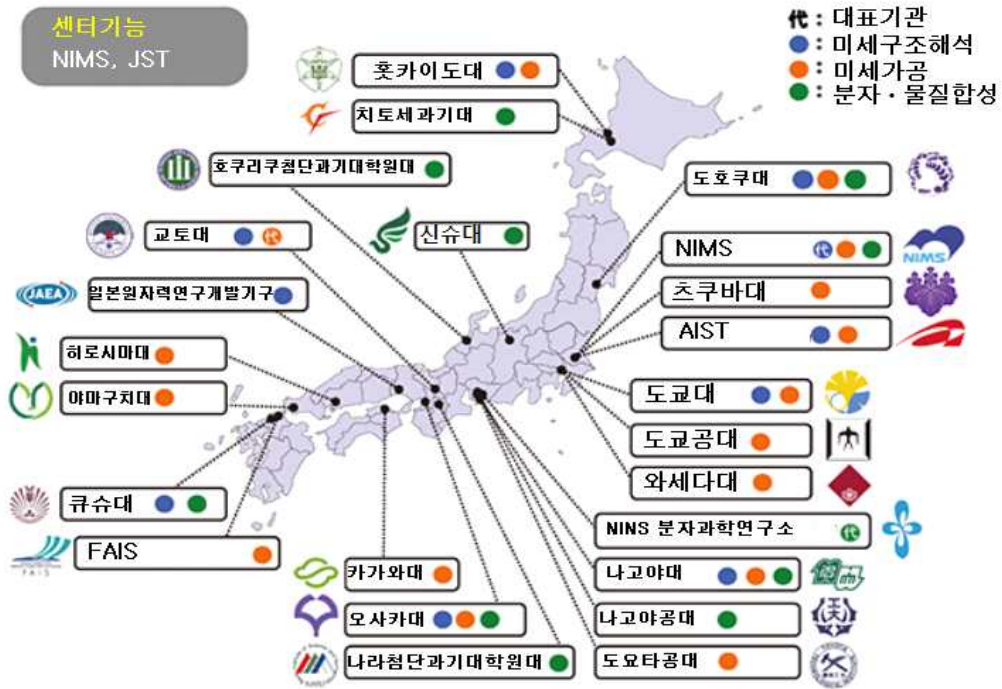
- △ 「전자빔 나노구조조형·관찰지원」
- ◎ 도쿄공업대 나노계측·분석/초미세가공 전자빔노광장치 등

- △ 「방사광을 이용한 나노구조·기능 계측·해석」
- ◎ 일본원자력연구개발기구(JAEA) ○ 물질·재료연구기구(NIMS) 나노계측·분석 SPring-8 빔라인 등

- △ 「중부지구 나노기술종합지원」
- ◎ 자연과학연구기구 분자과학연구소 ○ 나고야대, 나고야공업대, 도요타공업대 나노계측·분석/초미세가공/분자합성 탄소나노튜브 생성장치 등

- △ 「큐슈지구 나노기술거점 네트워크」
- ◎ 큐슈대 ○ 큐슈싱크로트론 광연구센터, 사가대, 기타큐슈 산업학술추진기구 나노계측·분석/초미세가공/분자합성 초고압전자현미경 등

- △ 「실리콘 나노가공과 고품질 진공 기술에 관한 지원」
- ◎ 히로시마대 ○ 야마구치대 초미세가공 화학 필터설치클래스 10 크린룸 등



<그림 2-1> 나노기술 플랫폼 참여기관(총 25개 기관)

다. 산·관·학 협동 나노기술 연구개발 거점 형성, 복구·재생, 안전·안심 도호쿠발 소재기술선도 프로젝트
(2013년도 예산액 14억 엔)

도호쿠지방의 대학과 제조업이 강점을 지니고 있는 나노기술·재료분야에서 산·관·학 협동으로 나노기술 연구개발거점을 형성했다. 최첨단 기술을 활용한 첨단재료를 개발하여 지진피해로부터 복구와 소재산업 발전을 견인한다.

라. 중핵적 기반 물질·재료연구
(2013년도 예산액 129억 엔, 2012년도 보정예산액 100억 엔)

물질·재료연구기구(NIMS)는 물질·재료분야에서 세계적 수준의 연구기관으로서 전국의 대학 등과 긴밀하게 제휴하면서 물질·재료과학기술에 관한 기초연구 및 기반적 연구개발 등의 업무를 종합적으로 실시한다.

마. 지구환경문제 해결을 위한 산·관·학 제휴모델 구축, 그린 이노베이션 나노기술을 활용한 환경기술개발
(2013년도 예산액 4억 엔)

‘츠쿠바 이노베이션아리나’(TIA-nano)의 중핵적 프로젝트로 오픈 이노베이션의 장을 마련하고, 지구환경문제의 해결과 지속가능사회의 구축을 위해 산·관·학 제휴에 의한 환경기술의 기초·기반적인 연구개발을 추진하기 위한 거점을 구축하는 것이다.

3) 2012년도 보정예산(추경)의 나노기술·재료 관련 추가시책

가. 구조재료의 신뢰성을 향상시켜 국토강인화 추진
(110억 엔)

이 시책의 배경은 일본의 사회 인프라는 대부분 건설 후 50년 이상 경과되어 사회 인프라의 노후화가 커다란 위험요인이다. 수 년 이내에 수도직하 지진과 난카이트러프거대지진 발생이 예상되며 동일본대지진보다 클 것으로 예상되어 큰 피해가 지적된다. 지진의 교훈과 터널천정판 낙하사고 등 사전방재를 위한 강력한 국가건설이 필요하다.

일본이 강한 면모를 지니고 있는 재료분야에 과학기술력을 총동원하여 사전방재와 경쟁력을 높이기 위해 국토강인화 시책을 종합적으로 추진한다.

나. 구조재료의 신뢰성 보증기술 등의 연구개발

(85억 엔) <물질·재료연구기구>

<배경>

- ① 인프라의 노후화에 따라 구조재료의 신뢰성 보증기술에 대한 프로젝트이다. 구조물의 열화는 재료의 열화(부식, 스트레스, 복합열화 등)와 구조의 열화(접합구조, 구조변형, 마모, 응력집중 등)가 복합적으로 발생한다. 원자, 결정구조, 구조물까지 멀티스케일(나노~미터레벨) 평가·해석·설계기술이 필요하다.
- ② 최근 금속(볼트와 매다는 도구)과 무기재료(콘크리트)를 복합이용한 부품재료와 사회인프라의 보수에 쓰이는 탄소섬유와 플라스틱 복합재료 등이 소재의 다양화와 하이브리드화로 발전되고 있다.

<개요>

- ① 사회인프라의 장수명화·내진화를 추진하기 위해 물질·재료연구의 중핵적 기관인 물질·재료연구기구(NIMS)에서 신뢰성평가, 보수기술 등에 관한 연구개발거점을 구축하며 국내외 허브가 될 수 있도록 외부에 개방형으로 구축한다.
- ② NIMS가 보유한 구조재료 기반기술과 축적된 재료데이터와 해석방법(시뮬레이션 등)을 통해 산업계의 실제 환경에 맞도록 구조재료의 신뢰성연구를 종합적으로 추진한다.

<구체적인 시책>

- ① 실제 환경에서 구조·부품재료의 신뢰성 보증기술개발
산업계의 니즈인 극한환경을 포함한 실제 환경에서 합금같은 특정 재료의 내구성 측정 및 이종재료의 접착계면과 용접부의 스트레스 특성

해석 등 실제기기 수준의 신뢰성 보증기술을 개발한다.

② 하이브리드재료의 신뢰성 확보 기술개발

아직 파괴메카니즘이 확립되어 있지 않은 하이브리드 재료와 같은 신 재료를 대상으로 및 신뢰성 확보기술, 보수기술 등을 개발한다.

③ 멀티스케일 재료평가·설계기술개발

Materials Informatics을 구사하여 멀티스케일에서의 평가·해석·설계 기술을 개발한다.

※ 재료에 관한 구조와 특성 등 다양한 정보를 데이터베이스화해 이를 적절히 정리 하여 재료탐색·신뢰성평가에 이용하는 기술이다.

다. 혁신적인 구조재료의 창제

(원소전략프로젝트 17억엔)

<배경>

- ① 일본이 강점을 보유하고 있는 구조재료는 교량 등의 인프라와 수송기 기 등 사회기반을 토대로 강인한 국가건설과 동시에 산업경쟁력 강화 에도 불가결한 역할을 하고 있다.
- ② 일본의 사회 인프라는 건설 후 50년 이상 경과한 것이 다수로 사회 인 프라의 노후화가 커다란 위험요인이다.
- ③ 차세대 항공기와 자동차 등이 경쟁력을 갖기 위해서는 연비향상·고 도화 등의 경량화가 가장 중요한 과제이며 티탄합금과 탄소섬유복합 재료, 혁신강판 등의 기술력 강화가 필수요소이다.

<개요>

- ① 국토강인화와 경쟁력 강화를 동시에 실현하기 위해 희소원소 사용량을 대폭 삭감하면서 강도와 연성을 겸비한 궁극의 구조재료 개발 시책을 추진한다.

- ※ 고강도재에 사용되는 니오비움(Nb), 내열강에 사용되는 몰리브덴(Mo), 내식도금에 쓰이는 아연(Zn) 등은 그 소비량의 90%이상이 구조재료이다.
- ② 문부과학성·경제산업성의 사업 간 성과의 실용화를 위해 연구개발과 산업계 과제에 과학적 탐색 등 협력을 추진한다.

라. 구조물 비파괴열화 진단기술개발

(8억 엔) <이화학연구소>

<개요>

- ① 교량 등의 대형구조물은 고도성장기에 건설되었기 때문에 향후 대량의 공공인프라가 수명을 다하게 된다. 현재 공공사업비로는 모든 교량·고속도로 등을 새로 건설하는 것이 불가능하기 때문에 예방보전기술의 신속한 확립이 필요하다.
- ② 중성자는 높은 투과 능력과 수소감도를 가지고 있어 콘크리트벽을 투과하여 내부의 열화를 관찰하는 것이 가능하다. 이에 중성자원의 소형화와 더불어 콘크리트벽을 투과하기 위한 에너지를 가진 고속중성자에 대응 가능한 검출기를 개발하여, 기존의 교량·고속도로 등의 예방보전검사기술 고도화를 위해 소형중성자원에 의한 전자재 내부평가시스템의 개발을 추진한다.
- ③ 광센싱에서는 레이저간섭파를 이용한 표면형상계측법 및 측정대상 내부 결함부에서 산란하는 성질을 가진 광탄성파에 의한 내부진단이 가능하다. 종래 광센싱에 의한 내부진단은 생체가 타깃이었지만 구조물에 최적화된 계측시스템을 개발하여 구조물의 결함을 내외로부터 고속으로 쉽게 발견할 수 있다.

<정비내용>

① 소형중성자원용 검출시스템(7억2천만 엔)

콘크리트를 투과하여 얻은 에너지를 가진 고속중성자를 검출하기 위한 검출기이다. 종래에는 불가능했던 고속중성자에 의한 대면적 이미징을 실현한다. 거대 교량 등의 내부를 검사하는 데는 반드시 필요한 검출기를 개발·정비 한다.

② 구조물해석 광센싱시스템(9600만 엔)

레이저간섭계에 의한 표면형상계측 및 광탄성파에 의한 내부결함 계측에 의해 구조물의 결함을 내부와 외부로부터 명확히 검출하는 장치이다. 구조물에 레이저강도 등이 최적화된 시스템을 개발·정비한다.

<예상 효과>

① 소형중성자원에 의한 교량·고속도로 등의 건자재샘플 내부평가

② 광센싱에 의한 구조물 표면·내부진단

2. 전략적 창조연구추진사업

전략적 창조연구추진사업은 사회적·경제적 니즈에 따라 국가가 정한 방침을 토대로 과학기술진흥기구(JST)에서 연구영역을 설정하여 대학·기업·연구개발독립행정법인 등 다양한 조직의 틀을 넘은 시한적인 연구체제(버추얼 네트워크형 연구소)를 구축하고, 과학기술이노베이션으로 이어가는 신기술 씨즈 창출을 목표로 한 과제달성형 기초연구를 추진한다.

일본정부는 제4기 과학기술기본계획의 방침(그린이노베이션, 라이프이노베이션)에 따라 중점적으로 연구·추진해야 할 대상으로 전략목표를 설정하고, JST는 연구영역을 설정한다.

연구영역마다 해당분야의 최고전문가를 연구총괄로 선출한다.

연구총괄은 연구 과제를 채택하는 동시에 연구 영역 내의 예산 배분, 예산

계획 조정, 연구자 조연을 실시하는 등 연구 관리를 실시한다.

과학기술이노베이션으로 이어질 신기술 씨즈를 창출하여 연구개발기관과 기업등과의 공동연구 등으로 일본의 중요과제 달성에 공헌한다.

적절한 평가와 투명성의 확보

- ① 연구과제의 사전·중간·사후평가는 연구총괄이 영역어드바이저와 함께 실시한다. 중간평가결과는 연구팀 편성 재검토와 자원배분에 반영한다.
- ② 연구영역 및 연구총괄의 사전·중간·사후평가는 외부전문가로 구성되는 평가위원회가 실시하며, 중간·사후평가는 연구성과 및 전략목표 달성 상황을 명확히 한다.
- ③ 추적조사(연구영역 종료 후 5년 후 예정)에 의해 연구성과의 사회환원 등의 상황을 명확히 한다.
- ④ 평가결과는 모두 홈페이지 등에 공개

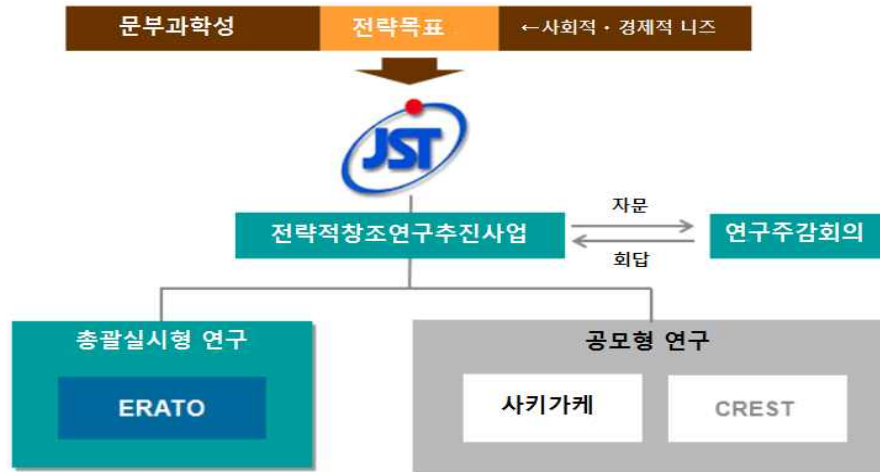
사업은 크게 탁월한 연구자에 의한 독창적 연구를 추진하는 ERATO, 영감이 큰 이노베이션 씨즈를 창출하기 위한 팀형 연구인 CREST, 분야융합을 통한 개성적인 개인연구를 하는 사키가케로 나뉜다.

1) ERATO

1981년, 일본은 풍요로운 미래와 국제사회에서 기여하기 위해 공업입국 건설을 목표로 과학기술의 창조적인 연구, 특히 기초적인 연구를 보다 강화하고자 창조과학기술추진사업(Exploratory Research for Advanced Technology; ERATO)을 발족했다. 그 후 제 2기 과학기술기본계획과 종합과학기술회의 추진전략 등 새로운 시대의 요청을 반영하여 2002년부터 전략적 창조연구추진사업 총괄실시형연구(ERATO)로 새롭게 출발했다.

ERATO는 전략목표 등의 달성을 위해 신기술의 창출에 공헌할 가능성이 높은 연구 영역 및 그 연구 영역의 운영 책임자인 연구총괄을 정해 연구총괄이

스스로의 연구구상(연구영역)의 실현을 목표로 연구자를 결집하여 직접 지휘해서 연구를 추진하는 사업을 말한다.



출처: JST

<그림 2-2> 전략적창조연구추진사업과 ERATO 체제

<나노 · 재료관련 프로젝트>

① 이소베 축퇴 π 집적프로젝트

연구총괄 : 이소베 히로유키 (도호쿠대 원자분자재료과학고등연구기구 교수)

연구기간 : 2013년10월~2019년3월

연구개요 : 나노카본의 특징 · 요건을 가지면서 설계 자재성 등 분자성 물질의 특성을 갖춘 차세대 나노카본으로 불릴 기능성물질, 축퇴 π 집적고체를 개발하여 그 신기능의 발견과 유기재료의 개발, 더욱이 이들을 기반으로 한 신규 디바이스 개발, 구체적으로는 배위고분자와 초분자화학 등의 방법을 조합하여 풍부한 π 전자계를 가지고 높은 대칭성을 갖춘 분자를 정밀하게 배치 · 집적시킨 고체 · 구조체 개발을 추진하여 원하는

기능과 특성을 실현하는 지도원리의 획득을 목표로 한다. 또 창출된 축퇴 π 전자계분자와 그 고체내에서의 자재설계에 의해 고성능 경원소 초전도물질과 유기박막 디바이스 창출이 목표이다.

② 이타미 분자나노카본 프로젝트

연구총괄 : 이타미 켄이치로 (나고야대 트랜스포머티브 생명분자연구소
거점장/이학연구과 교수)

연구기간 : 2013년10월~2019년3월

연구개요 : 미답·신기의 나노카본을 구조적으로 순수한 분자로 설계, 합성하는 동시에 이들을 기반으로 압도적으로 뛰어난 기능성 재료를 개발, 이들의 응용전개까지 도모하여 분자나노카본과학이라는 신분야 확립과 이노베이션 창출을 목표로 한다. 연구를 통해 나노카본을 단일 분자로 이해하여 활용하는 동시에 탄소재료의 잠재능력을 도출하는 새로운 표준을 구축하고 획기적인 분자나노카본물질 개발로 산업계에도 공헌했다.

③ 미노시마 분자나노카본 프로젝트

연구총괄 : 미노시마 카오루 (전기통신대 정보이공학연구과 교수)

연구기간 : 2013년10월~2019년3월

연구개요 : 주파수 축상에서 스펙터강도가 빗살모양으로 정밀하고 등간격으로 배열된 첨단광원 ‘광고무’를 일렉트로닉스와 광기술과의 융합으로 기반적이면서 혁신적인 지적 광신디사이저로 진화시킨다. 이로 인해 광파의 시간, 공간, 주파수, 위상, 강도, 편광 등의 모든 파라미터를 자재로 조작하며 다양한 응용에 이용할 수 있도록 진화시킨 지적 광원을 개발하여 그 미답 응용분야를 개척한다.

④ 아키요시 바이오나노트랜스포터 프로젝트

연구총괄 : 아키요시 카즈나리 (교토대대학원 공학연구과 교수)

연구기간 : 2013년10월~2017년3월

연구개요 : 생체분자시스템을 기반으로 다양한 바이오의약품과 분자마커의 서방제어와 선택적 수송을 할 수 있는 기능성 나노미립자(바이오나노트랜스포터)를 나노젤테크토닉스공학, 프로테오리포솜공학, 엑소솜공학 3개의 관점에서 창제하여 바이오진단·계측과 암면역치료, 세포공학과 골재생의료 등의 의료응용을 목표로 한다.

⑤ 카나이 촉매분자생명 프로젝트

연구총괄 : 카나이 모토무 (도쿄대대학원 약학계연구과 교수)

연구기간 : 2011년10월~2017년3월

연구개요 : 촉매를 키워드로 복잡한 구조를 가진 의약후보물질을 단공정, 지구환경을 오염시키지 않고 합성할 수 있는 혁신적 촉매를 개발하고 지금까지 합성이 곤란했던 의약분자의 합성을 목표로 한다.

⑥ 이요다 초집적재료 프로젝트

연구총괄 : 이요다 토모카즈 (도쿄공대 자원화학연구소 교수)

연구기간 : 2010년10월~2016년3월

연구개요 : 나노템플레이트(나노스케일 주형)을 이용해서 각 구성성분의 정밀한 배치·배열을 통해 각 성분 간 상호작용을 정밀하게 제어하여 단순 성분의 여러 가지 성질을 갖는 재료(초집적재료)의 창출한다. 여기서 쓰이는 나노템플레이트는 인공적인 것만이 아닌 미생물이 지닌 것처럼 복잡한 구조로 보다 고도의 상호작용 제어를 목표로 한다.

⑦ 카토리 창조시공간 프로젝트

연구총괄 : 카토리 히데요시 (도쿄대대학원 공학연구과 교수)

연구기간 : 2010년10월~2016년3월

연구개요 : 세슘원자시계를 훨씬 능가하는 광격자시계의 실현을 목표로 한다. 이 광격자시계는 이론적으로 18자리의 정밀도의 시간 측정이 가능하다. 이는 우주연령(137억년)을 지나도 오차가 1초 이하이다.

⑧ 타케우치 바이오융합 프로젝트

연구총괄 : 타케우치 쇼지 (도쿄대 생산기술연구소 교수)

연구기간 : 2010년10월~2016년3월

연구개요 : 미세한 가공·배치를 강점으로 하는 MEMS기술과 마이크로 유체 디바이스기술과의 조합으로 세포를 마치 볼트와 너트, 톱니와 같은 규격화된 부품처럼 가공하여 두께를 가진 3차원 조직을 기계조립처럼 치밀하고 고속으로 구축할 수 있도록 한다. 이 같은 바이오테크놀로지와 공학기술의 융합에 의해 실현되는 세포조직 구조체는 재생의료의 안전한 이식재료로 이용과 동물실험에 의존하지 않는 약물동태검사시스템 구축 등에 공헌한다.

⑨ 요모 동적 미소(微小)반응장 프로젝트

연구총괄 : 시모다 타츠야 (호쿠리쿠침단과학기술대학원대 교수)

연구기간 : 2006년~2014년

연구개요 : 세포가 가지는 성질, 즉 미소구회에서 반응의 고효율성, 확률성, 완강성, 성장분열하는 미소구회에 의한 재귀성, 변이와 선택에 의한 진화태의 3점에 착목해서 이들의 성질을 가지는 동적 미소반응장을 기존 물질로부터 개발했다.

⑩ 타카하라 소프트계면 프로젝트

연구총괄 : 타카하라 아츠시 (큐슈대 선도물질화학연구소 교수)

연구기간 : 2008년~2013년

연구개요 : 뛰어난 특성을 가지는 자연계의 소프트 인터페이스의 재료설계로부터 소프트 머터리얼의 재료과학을 구사해서 신규 소프트 인터페이스를 창제하는 동시에 고성능 소프트 인터페이스 구축을 위한 보편적인 과학적 원리 규명을 목표로 한다.

⑪ 히라야마 핵스핀 일렉트로닉스 프로젝트

연구총괄 : 히라야마 요시로 (도호쿠대대학원 이학연구과 교수)

연구기간 : 2007년~2014년

연구개요 : 게이트에 의해 정밀제어가 가능한 반도체 양자구조와 나노재료를 이용하여 핵스핀을 정밀 제어하는 기술을 확립하고 양자 정보처리를 위한 반도체 디바이스와 초고감도NMR 전개를 목표로 한다.

⑫ 시모다 나노액체 프로세스 프로젝트

연구총괄 : 히라야마 요시로 (도호쿠대대학원 이학연구과 교수)

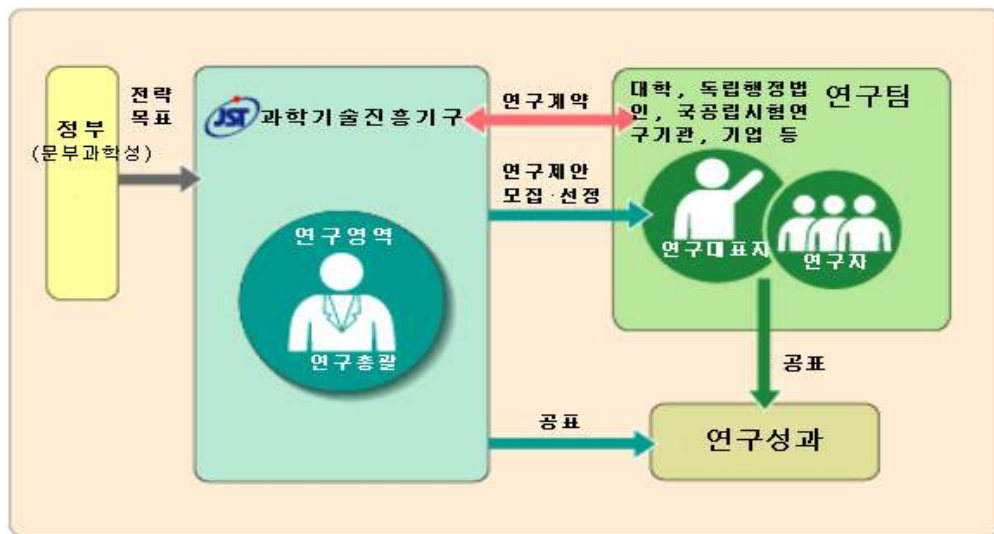
연구기간 : 2006년~2014년

연구개요 : 나노사이즈의 전자디바이스를 용액법으로 직접 형성하는 기술기반을 확립했다. 이를 위해 용액 또는 용질의 나노구조와 물성을 해석하여 분자간력을 토대로 한 나노물질수송과학의 신영역 개척과 새로운 나노구조액체를 개발한다.

2) CREST

국가 과학기술정책과 사회적·경제적 니즈를 토대로, 사회적인 임팩트가 큰 목표(전략목표)를 국가(문부과학성)가 설정하고, 이노베이션을 창출하기 위한 팀형 연구를 추진한다.

연구총괄은 전략목표 달성을 위한 연구를 추진하기 위해 버추얼 네트워크형 연구소가 되는 연구영역의 장으로서, 채택과제 결정, 연구계획(연구비, 연구팀 편성 포함)의 조정, 연구대표자와의 의견교환, 연구조언, 과제평가, 기타 필요한 수단을 통해 연구영역의 연구매니지먼트를 실시. 연구실시기간은 5년 이내이다.



출처: JST

<그림 2-3> CREST 사업 흐름

<나노·재료관련 프로젝트>

- ① 소재·디바이스·시스템 융합에 의한 혁신적 나노일렉트로닉스의 창성 (CREST·사키가케 복합영역)

연구총괄 CREST 담당 : 사쿠라이 타카야쓰 (도쿄대 생산기술연구소 교수)

부연구총괄 사키가케 담당 : 요코야마 나오키 (후지츠연구소 펠로)

연구개요 : 정보디바이스의 초저소비전력화와 다기능화의 실현을 위한 소재기술·디바이스기술·나노시스템 최적화기술 등의 융합에 의한 혁신적 기반기술을 개발한다.

- ② 초공간제어를 토대로 한 고도한 특성을 지닌 혁신적 기능소재 등의 창제
 연구총괄 : 세토야마 토오루(미쓰비시화학 펠로·집행임원 / 미쓰비시
 화학과학기술연구센터 합성기술연구소장·무기계기능재료
 연구소장)
 연구개요 : 선택적 물질저장·수송·분리·변환 등을 실현하는 물질중
 의 미세한 공간공극구조제어기술에 의한 신기능재료 개발.
- ③ 신기능 창출을 목표로 한 분자기술 구축
 연구총괄 : 야마모토 히사시 (츄부대 분자성촉매연구센터장/교수)
 연구개요 : 환경·에너지재료와 전자재료, 건강·의료용 재료에 혁신을
 야기할 분자의 자재설계 ‘분자기술’의 구축.
- ④ 원소전략을 기축으로 하는 물질·재료의 혁신적 기능 창출
 연구총괄 : 타마오 코헤 (이화학연구소 연구고문/글로벌연구클러스터장)
 연구개요 : 희소금속 프리재료의 실용화 및 초고보자력(超高保磁力)·
 초고인성 등의 신규 목적기능을 목표로 한 원자배열제어 등
 의 나노스케일 물질구조제어기술에 의한 물질·재료의 혁신
 적 기능의 창출
- ⑤ 첨단광원을 구사한 광과학·광기술의 융합전개
 연구총괄 : 이토 타다시 (오사카대 명예교수)
 연구개요 : 최첨단 레이저 등의 새로운 광을 이용한 물질재료과학, 생명
 과학의 이노베이션 전개
- ⑥ 프로세스 통합에 의한 기능발현 나노시스템의 창제
 연구총괄 : 소네 준이치 (물질·재료연구기구 이사)
 연구개요 : 프로세스 통합에 의해 혁신적인 기능을 가진 나노시스템 개
 발. 포토리소그래피 등의 톱다운 프로세스와 자기조직화로
 대표되는 보텀업 프로세스의 고도화와 통합화를 추진하여
 혁신적인 기능을 발현하는 차세대 나노시스템을 개발.

- ⑦ 프로세스 통합을 위한 고기능 나노구조체의 창출
 연구총괄 : 소네 준이치 (물질·재료연구기구 이사)
 연구총괄 : 이리에 마사히로(릿쿄대 이학부화학과 교수)
 연구개요 : 분자레벨의 정밀한 나노구조, 기능을 매크로레벨의 재료의 구조, 기능으로 연결 짓는 방법을 탐구하여 보텀업 프로세스 로박에 달성하지 못했던 특이한 구조, 기능을 갖춘 자립하는 고기능 나노구조체를 개발.
- ⑧ 차세대 일렉트로닉스 디바이스 창출에 기여할 혁신재료·프로세스연구
 연구총괄 : 와타나베 히사즈네 (EUVL기반개발센터 사장)
 연구개요 : 반도체 로드맵전략에 입각한 기술진화 포화 초월을 목표로 미세화 패러다임만으로는 실현 불가능한 기능·성능을 가지는 혁신적이고 실용화 가능한 일렉트로닉스 디바이스 개발을 위한 재료·구조 개발 및 프로세스 개발연구.
- ⑨ 나노계면기술의 기반구축
 연구총괄 : 신카이 세이지 (소조대 공학부 교수)
 연구개요 : 이종재료·이종물질 상태간의 고기능 접합계면을 실현
- ⑩ 나노과학을 기반으로 한 혁신적 제조기술의 창성
 연구총괄 : 호리이케 야스히로 (츠클바대 수리물질과학연구과 객원교수)
 연구개요 : 나노디바이스와 나노재료의 고효율제조 및 나노스케일과학에 의한 제조기술의 혁신에 관한 기반 구축.

3) 사키가케

국가 과학기술정책과 사회적·경제적 니즈를 바탕으로 국가가 정한 전략목표의 달성을 위해 목적지향형 기초연구를 추진한다. 연구 제안을 공모에 의해 선정하여 연구총괄의 관리 하에 연구총괄·영역 어드바이저의 조언을 얻어 같은 연구영역에 모인 다양한 기관과 백그라운드의 연구자와 교류를 통해 개

인이 독립된 연구를 추진한다.



출처: JST

<그림 2-4> 사키가게 체계

<나노·재료관련 프로젝트>

① 초공간제어와 혁신적 기능창성

연구총괄 : 쿠로다 카즈유키 (와세다대 이공학술원 교수)

연구개요 : 에너지변환재료, 화학물질의 저장·수송·분리·변환을 가능케하는 재료, 분자인식재료, 의용재료, 구조재료, 전자재료 등의 이용을 위해서 고도로 설계·제어한 공간공극을 혁신 기능 창성의 장으로써 파악한 선구적·독창적인 연구추진.

② 분자기술과 신기능 창출

연구총괄 : 카토 타카시 (도쿄대대학원 공학계연구과 교수)

연구개요 : 분자를 기반으로 하는 신재료·신디바이스·신프로세스 등의 창출을 위해 분자의 거동을 자유자재로 제어하는 분자기술을 개척, 확립하여 분자재료에 관한 일본의 학문과 산업경쟁력의 지속발전에 기여.

③ 신물질과학과 원소전략

연구총괄 : 호소노 히데오 (도쿄공대 프론티어연구센터 응용세라믹스연구과 교수)

연구개요 : 자원, 환경, 에너지문제 등을 해결하는 그린 이노베이션에 기여할 클러크수 상위 원소를 구사해서 나노구조와 계면·표면, 결합 등의 제어와 활용에 의한 혁신적인 기능물질과 재료 개발과 계산과학과 첨단계측에 입각한 새로운 물질·재료과학 확립을 목표로 함.

④ 광의 이용과 물질재료·생명기능

연구총괄 : 마쓰하라 히로시 (나라첨단과학기술대학원대학 물질창성과학연구과 특임교수)

연구개요 : 광과의 상관을 새로운 광원으로부터 탐색해 정보통신, 나노기술·재료, 라이프사이언스, 환경·에너지 등의 분야에서 이제껏 없던 혁신기술의 맹아 창출. 광원으로서 고효율, 초단펄스, 초장파장의 레이저, 방사광, 극미약광, 단일광자레벨의 광도 고려해 광의 본질 규명연구, 광을 최대한 이용하는 연구, 광만으로 가능해지는 합성·물성·기능의 연구, 광에 의해 실현되는 프로세스, 광에 관련된 세포기능, 광으로 처음 규명되는 생체조직, 광만으로 제어가능한 생명기능, 이와 더불어 실제 재료와 생물을 대상으로 한 광계측법, 이미징법의 연구.

⑤ 나노시스템과 기능창발

연구총괄 : 오사다 요시히토 (이화학연구소 객원주관연구원)

연구개요 : 나노기술의 톱다운 방법의 기술 고도화, 정밀한 보텀업 방법의 구사 또는 이들의 방법의 융합에 의해 자율적, 비선형적으로 새로운 기능을 창출하는 연구를 추진, 차세대 나노시스템 구축.

4) ACCEL

전략적 창조연구추진사업 등으로 창출된 세계를 선도하는 현저한 연구성과 가운데 유망하지만 당장 기업 등에서는 리스크 판단이 곤란한 성과를 추출하여 프로그램 매니저의 이노베이션지향의 연구매니지먼트에 의해 기술적 성립성의 증명·제시(Proof of Concept: POC) 및 적절한 권리화까지 추진하여 기업과 벤처, 기타사업 등에 연구개발 흐름으로 이어나간다.



출처:JST

<그림 2-5> ACCEL의 특징

<나노관련 프로젝트>

① 일렉트라이드의 물질과학과 응용전개

연구대표자 : 호소노 히데오(도쿄공대 프론티어연구센터 응용세라믹스 연구소 교수)

프로그램 매니저 : 요코야마 토시하루(과학기술진흥기구)

연구개발기간 : 2013년10월~2018년3월

연구개발개요 : 일렉트라이드(전자화물)은 전자가 음이온으로 작용하는 물질의 총칭이며 흥미 있는 물성이 기대되고 있지만 실온·공기 중에서 안정된 물질이 발견되지 않아 재료로서 전개가 진전되지 못했다. 호소노 교수는 2003년부터 처음으로 이 과제를 해결하는 물질을, 2011-2013년에는 개념을 확장하는 아몰퍼스 및 2차원 일렉트라이드를 실현했다. 일렉트라이드는 흥미 깊은 물성 등이 발견돼 다양한 응용이 기대되어 이 특징을 살린 화학반응과 전자재료 등에 응용을 검토하는 동시에 신물질과 신기능 탐색, 새로운 응용전개를 목표로 한다.

이밖에 첨단적 저탄소화기술개발 프로젝트인 ALCA 등이 있다.

제3장 인프라

1. 나노기술 플랫폼

1) 배경

나노기술의 공용기반네트워크는 대학·연구기관이 보유하고 있는 연구설비의 공용화를 추진하여 산·관·학의 폭넓은 이용을 통해 혁신적인 성과를 창출하는 것을 목적으로 한다.

지금까지 외부고용 추진과 그 시스템 구축을 위해 ‘나노기술 종합지원프로젝트(2002~2006)’ 및 ‘나노기술 네트워크(2007~2011)’에 각 대학 등의 외부 공용업무 실시에 관련된 필요한 기술지원 등에 관련된 경비를 지원해 왔다.

그 결과 운영 및 활용은 각 대학 등에서 공용설비 운용조직의 설치와 과금제도를 비롯한 이용시스템의 정비 등 산업계와 이용자의 편의성 향상을 위한 시책이 추진되고 있다. 현재는 ‘나노기술플랫폼(2012~)’에서 센터기관과 각 기술영역 플랫폼의 대표기관을 중심으로 전국적인 공용체제 활용시스템의 고도화를 추진하고 있다. [8p 그림. 나노기술 플랫폼 참여기관 참조]

한편 나노기술 공용기반은 최근 유럽·미국뿐만 아니라 중국, 한국을 비롯한 신흥국들에서도 연구개발거점과 공동이용시설에 대해 전략적으로 자금을 투입하면서 나노분야의 국제경쟁이 격화되고 있는 실정이다.

그러나, 공용설비인 나노기술 네트워크(2007~2011)까지는 부품소재개발 등의 연구수준과 스피드 대응에 대해 해외의 정책과 비교하여 충분히 대응하지 못하고 있었다.

따라서, 나노기술플랫폼(2012~)은 나노기술 공용기반을 고도화하기 위해 국제동향 및 기술동향을 모니터링하면서 지금까지 추진해 온 나노기술 플랫폼의 전국적인 공용기반 네트워크를 활용 및 대학·연구기관의 나노기술 공용설비에 대해 이용자 니즈를 충분히 반영하여 필요한 정비·고도화를 추진한다. 또한, 2012년 보정예산(긴급경제대책)도 확보하는 등 혁신을 위한 노력도 꾸준히 지속적으로 추진한다.

이 플랫폼에서는 산업계 등 폭넓은 이용자에 대해 최첨단 계측, 평가, 가공설비의 이용기회 및 고도의 기술지원을 함께 제공하고, 부품소재개발의 기초역량강화와 혁신 창출을 위한 연구기반 형성을 추진하고 있다. 더불어, 국가프로젝트(차세대축전지연구 등)와 연계하여 전략적이고 효율적인 이노베이션기반 강화에 공헌하고자 한다.

2) 추진 정책(안)

나노기술플랫폼은 국제동향 및 기술동향의 모니터링 및 산업계 등 외부이용자의 니즈를 반영하여 부품소재 개발에 필요한 최첨단설비이다.

이에 따라 플랫폼의 정비·고도화를 위해 미등록 기존설비의 유효활용(등록설비로의 추가), 중복설비 배제, (신규도입이 아닌)기존 설비 고도화의 여부 등에 대해 충분히 검토·정밀조사하고 있다.

특히, 보정예산으로 정비·고도화한 설비는 본 플랫폼의 사업기간동안 공

용설비로써 외부에도 공용으로 제공한다. 또한, 해당설비의 이용 상황과 성과 등에 대해 매년 평가를 실시한다.

이용료 수입에 대해서는 현재 각 대학 등이 설정하고 있는 이용료 수입목표에 향후 정비·고도화된 설비에 관련된 이용료 수입 목표분을 가산하도록 한다.

또 해당설비를 ‘성과 비공개 이용’을 할 수도 있으며, 운영비용(광열수비, 소모비 등)은 설비구입비의 일부에 상당하는 이용요금 설정을 기본으로 한다.

다만 플랫폼 내에서의 통일적인 구상과 목적 등에 입각해 필요한 경우에는 해당설비의 특징과 이용형태 등에 따라 이용요금을 별도로 설정하는 것도 가능하다.

외부공용률은 해당설비에 대해서 본 플랫폼의 공모시 구상을 토대로 외부 공용율의 목표는 50% 이상으로 한다. 다만 플랫폼 내에서 통일적인 구상과 목적 등에 필요한 경우 해당 설비의 특징과 이용형태 등에 따라 적절한 목표를 별도 설정하는 것도 가능하다.

2. 츠쿠바 이노베이션아리나 나노기술거점(TIA-nano)

TIA-Nano는 2009년 6월 이바라키현 츠쿠바에서 산·관·학 공동으로 설립한 일본의 대표적인 나노기술 연구거점 운영체제이다. 제1기 중기계획 수립하고 연구인프라를 정비와 함께 운영을 시작했다.

2012년 4월, 고에너지가속기연구기구(KEK)가 새로 중핵기관으로 참가하면서 인프라가 한층 충실해졌으며 이로써 TIA-nano가 본격운영에 들어갔다.

내각부의 최첨단연구개발지원프로그램(FIRST)을 비롯해 TIA-nano를 연구개발프로젝트에 적극 활용하는 정책이 추진중이다.

<표 3-1> 6개의 핵심연구영역

나노일렉트로닉스	나노CMOS, 실리콘포토닉스, 카본일렉트로닉스, 스핀트로닉스, 백엔드디바이스, 신재료, 첨단리소그래피(EUVL)
파워일렉트로닉스	SiC기판→디바이스→시스템까지 종합적인 전력반도체의 연구개발 · 실증
N-MEMS	고부가가치 다품종/양산집적 N-MEMS
나노그린	환경·에너지기술의 실현을 위한 물질·재료연구의 전환
탄소나노튜브	CNT양산실증과 다양한 용도의 재료와 CNT의 융합재료 개발
나노재료안전평가	나노재료안전에 관련되는 세계적인 데이터 집적·평가

<표 3-2> 3개의 핵심인프라

나노디바이스 실증·평가 파운드리	다양한 CMOS 디바이스의 집적화를 촉진, SiC 전력소자 시제품·실증·평가로 실용화를 촉진 다양한 니즈·씨즈를 토대로 한 N-MEMS 소자의 신기술·실용화 촉진
나노기술 공용시설	중핵 4개기관의 산관학공용연구설비(나노계측, 나노가공 등)
나노기술대학원 제휴	츠쿠바대학을 중심으로 전일본체제에 의한 차세대 인재육성 기능

출처: TIA-nano HP

TIA-nano는 중점영역을 6개의 핵심연구영역으로 정하고 산·관·학의 자금·인재를 집약하여 연구개발을 실시하고 있다. 또한 실증디바이스 시제품 제작·평가, 나노기술첨단장치군 공동이용, 인재육성 추진에 관한 체계를 3개의 핵심인프라로 정비중이다.

제4장 인재양성

일본정부의 경우, 나노기술 인재양성에 특화된 구체적인 정책은 없으나, 문부과학성에서 ‘나노기술플랫폼’사업의 일환으로 츠크바대학과 오사카대학 등 각 거점기관에서 나노인재양성 교육프로그램을 지원하고 있다. 하지만 이러한 활동은 인재양성을 위한 교육프로그램이라기 보다는 산학제휴 인프라 활용 차원이라고 볼 수 있다.

이런상황에서 츠크바이노베이션아리나 나노기술 거점(TIA-nano)의 핵심인프라인 츠크바대학 ‘산·학·연 제휴 인재육성 프로그램(HONORS)’과 오사카대학에서 실시하고 있는 ‘나노 고도학제 교육연구훈련 프로그램’은 일본 나노기술 인재양성 프로그램으로 대표할만하다. 츠크바대학과 오사카대학 프로그램은 대학원 프로그램으로, 프로그램을 지원하고 있는 관련 기업의 사회인들을 참여시켜 산학제휴를 강화해 나가고 있다는 점이 특징이라 할 수 있다.

이에 본 보고서에서는 츠크바대학의 ‘HONORS’ 프로그램과 오사카대학의 ‘나노 고도학제 교육연구 훈련 프로그램’에 대해 정리하고자 한다.

1. TIA-nano 산·학·연 제휴 인재육성프로그램(HONORS)

1) 개요

2009년 6월, 산·관·학 공동선언에 의해 이바라키현 츠크바에 탄생한 일본의 대표적인 나노기술 연구거점인 츠크바이노베이션아리나 나노기술거점(TIA-nano)은 운영체제 구축, 제1기 중기계획 수립, 연구인프라

정비 등을 일단락 짓고 운영을 시작하였다.

2012년 4월에는 기존 산업기술총합연구소(AIST), 물질·재료연구기구(NIMS)등에 이어 고에너지가속기연구기구(KEK)가 새로 중핵기관으로 참가하면서 인프라가 더욱 확고해졌다. 이로써 TIA-nano가 본격운영에 들어가게 되었으며, 최첨단연구개발지원프로그램(FIRST)을 비롯해 TIA-nano를 연구개발프로젝트에 적극 활용하도록 하는 시책이 활발해지게 되었다.

TIA-nano는 6개의 핵심연구영역을 정하고 산·관·학의 자금·인재를 집약하여 연구개발을 실시하고 있다. 또한 실증디바이스 시제품 제작·평가, 나노테크첨단장치군 공동이용, 인재육성 추진과 같이 3개의 핵심인프라로 정비 중에 있다.

3개의 핵심인프라 가운데 하나인 나노테크대학원 제휴는 세계적인 산·관·학 제휴 연구거점으로써 갖추어야 할 대학원·인재육성 기능을 구체화한 것으로, 핵심연구 인프라시설 주변에 츠쿠바대학을 간사학교로 한 전일본체제에 의한 조직적·제도적 제휴로 대학원 기능을 부여한 것이다.

2) 프로그램 내용

2010년 문부과학성 특별경비로 채택된 사업으로써 츠쿠바대 대학원을 중심으로 츠쿠바에 있는 산업기술총합연구소(AIST), 물질·재료연구기구(NIMS), 민간기업과 제휴하여 2010년부터 추진해 오고 있다. 이 프로그램은 박사과정을 대상으로 하며, 수리·물질·과학 연구과 내의 전공횡단형 나노일렉트로닉스 관련 연구분야 교육프로그램이다.

제휴 국내대학으로는 츠쿠바대학, 도쿄이과대학, 시바우라공업대학 등이 있으며, 산업기술총합연구소(AIST), 물질·재료연구기구(NIMS)가 기반이 되어 'TIA대학원 제휴 컨소시엄'을 형성한다. 이는 'TIA-nano'의 최첨단 인프라를 활용할 수 있는 체제로써, 전국 각 대학의 나노기술 분야

의 교육프로그램을 제안하고 산·관·학에 열린 공동운영시스템 구축을 목표로 한다.

2013년 4월에는 도요타자동차와 덴소그룹, 후지전기 등 산업계와의 제휴를 바탕으로 TIA 제휴 대학원 파워일렉트로닉스 코스가 시작되었으며, 차세대 나노기술 인재육성을 목표로 젊은 연구자들을 위한 세미나 및 썸머스쿨을 개최하는 등 실천적인 기업연구와 고도 대학교육을 일원화한 나노기술분야의 인재육성을 추진하고 있다.

뿐만 아니라 스탠퍼드대학, 뉴욕주립대 알바니교, 타이완 국립교통대학, 루벤가톨릭대학/IMEC, 그르노블공대/MINATEC 등 해외 제휴를 활용하여 질 높은 대학원 코스워크 프로그램(영어수업)을 도입하고 있다.



<그림 4-1> HONORS프로그램 체계

이 프로그램에서는 인재와 연구시설을 갖추고 있는 츠쿠바지구에 나노 일렉트로닉스 세계적 거점을 창출하여 고도의 제휴 교육연구를 전개함

으로써 차세대 나노일렉트로닉스를 선도하는 인재육성을 목적으로 한다.

나노일렉트로닉스 관련 주요 5분야는 다음과 같다.

- ① 실리콘나노일렉트로닉스
- ② 광일렉트로닉스
- ③ 탄소나노일렉트로닉스
- ④ 스핀트로닉스
- ⑤ 나노바이오·유기일렉트로닉스계

또한, 이 프로그램의 운영주체는 츠쿠바지구 산·학·연 제휴연구에 참가하고 있는 츠쿠바대(수리물질과학연구과), NIMS, AIST, Selete를 비롯한 민간기업들이며, 각 분야(상기 5개 분야)마다 제휴코디네이터를 두고 그 아래 산·학·연 제휴 팀을 편성함으로써 제휴연구를 촉진하고 인재육성에 활용한다.

이와 더불어 나노일렉트로닉스 연구의 세계적 거점 중 하나인 뉴욕주립대 알바니분교와 스탠포드대와의 교환프로그램 실시, 국내외 우수 연구자들에 의한 강의 및 세미나, 기업과 국가연구기관 간 인턴십 실시 등을 통해 글로벌 스탠더드 가치관과 츠쿠바대·타기관 간의 강력한 인적 네트워크를 확립하고자 한다.

본 프로그램의 입학희망자는 희망연구분야(상기 5개 분야)의 지도교원의 승낙을 얻은 후 응모해야 하며, 운영위원회에서 심사 후 합격자에게는 지도교원과 각 연구분야의 제휴코디네이터가 배치된다.

본 프로그램에 입학한 학생은 각 연구분야의 제휴코디네이터가 주재하는 문제추출과 연구과제 설정을 위한 검토회에 참가하여 니즈와 연구스킬을 파악하는 프로세스를 배우게 된다. 이 뿐 아니라, 제휴코디네이

터와 지도교원에 의한 문제분석(전문분야의 한계를 인식)의 프로세스를 경험하게 된다. 제휴코디네이터는 이들 결과를 토대로 산·연 어드바이저를 선정하고, 학생은 복수의 연구그룹과 제휴하여 연구를 시작함으로써 이문화(연구분야, 지재의 중요성, 기업윤리 등) 경험 및 과제해결을 위한 연구를 추진하게 된다.

본 프로그램에서는 매 학기 개최되는 경과보고회에서 발표와 연구진척 보고서를 제출할 의무가 있으며, 각 년도의 마지막 경과보고회에서는 어드바이저와 외부평가위원이 출석하여 성과보고회와 본 프로그램의 외부평가회를 겸하게 된다. 또 연구추진 기간에는 츠쿠바지구에 있는 최첨단시설에서 진행되는 인턴십에 참가하거나, 뉴욕주립대 알바니 또는 스탠퍼드대에서 약 3개월간 연수·교환프로그램에 의무적으로 참가해야 한다.

HONORS프로그램의 재적학생 가운데 매년 12명 정도를 수퍼RA(연구원 또는 연구보조원)으로 채용. 수퍼RA의 선정 및 경신 심사는 매년 6월 운영위원회에서 실시한다.

2. 오사카대학 나노고도학제교육연구 훈련프로그램

1) 개요

오사카대학에서는 교육연구분야 가운데 학제성·맹아성이 현저한 나노사이언스·나노기술 연구분야의 인재육성을 보다 효과적으로 추진하기 위해 2004년도부터 오사카대학 나노사이언스·나노기술연구추진기구가 나노관련 연구를 실시하고 있는 전교 연구과·연구소·센터를 횡단하는 형태로, 대학원(석사·박사), 사회인교육을 위한 '나노 고도 학제 교육연구 훈련프로그램'을 시작했다.

이 프로그램은 문부과학성 과학기술진흥조정비 신흥분야 인재양성프로젝트의 지원을 얻어 2004년부터 2008년까지 5년간 총 1100명의 이수생 중 700명의 수료생을 배출했다.

이 같은 성과를 토대로 2009년도부터는 2008년에 창설된 나노사이언스디자인교육연구센터가 정부의 특별교육연구경비 지원을 얻어 본 프로그램을 계속 발전시켜 나가고 있다.

또한 2008년도에 오사카대학과 기업들과의 제휴로 설립된 오사카대학 나노이공학 인재육성 산학컨소시엄도 이 프로그램을 강력하게 지원하고 있다. 현재까지 이수생은 1,500명, 수료생은 1,000명을 넘고 있다.

2) 프로그램 내용

기존 학문영역을 넘어 분야간 교류와 제휴에 의해 새로운 영역이 형성되고 있는 가운데, 금일 첨단과학기술의 눈부신 발전이 이루어지고 있다. 이런 관점에서 오사카대학의 관련 13개부국의 교원들이 횡단적으로 참가하여 실시하고 있는 오사카대학 나노고도학제교육연구프로그램 사회인교육은 일본 국내 유일한 나노이공학 인재육성을 위한 라이브원격강의를 병용한 광역적 프로그램이다.

오사카대학 나노사이언스디자인교육연구센터는 오사카대학의 이학, 의학계, 약학, 공학, 기초공학, 생명기능 등 6개 연구과, 산업과학, 접합과학 등 2개 연구소, 레이저에너지학, 초고압전자현미경, 극한양자과학, 태양에너지화학 등 4개 연구센터 소속의 교원 100여명이 겸임해서 나노사이언스·나노기술 분야의 대학원 레벨의 부전공형 각종 인재육성프로그램을 2004년도에 개시하였다.

이후 원격 라이브 비디오강의의 형태로 오사카대학 뿐만 아니라 타대학에도 제공하고 있으며, 나아가 기업관계자에게는 사회인교육을 원격

야학강의로 제공해 왔다. 이렇게 해서 대학원 8개 연구과의 수강생은 1000명을 넘었으며, 사회인교육은 160여개사로부터 850명에 이르렀다.

뿐만 아니라, 2008년도에는 산학제휴 상호인재육성을 목표로 일반사단법인 '오사카대학 나노이공학인재육성 산학컨소시엄'을 창설하였으며, 이를 통해 대학과 산업계의 지혜를 모을 수 있는 장을 마련하였다. 또 각종 나노이공학의 정보교류, 이업종 복수기업이 참가하여 10년, 20년 앞을 내다본 장기전망 연구테마 검색 공부 등 폭넓은 인재육성활동을 지원하고 있다.

특히 이 프로그램은 2014년도부터 시작되는 문부과학성의 '사회로 열린 제조 이공학의 국제인재육성모델사업·사회제휴와 글로벌화에 적합한 나노디자인 교육연구에 의한 제조 이공학 인재의 육성' 사업으로부터 지원이 내정되어 있어 사회성·국제성·나노디자인·지역제휴를 목표로 한 활동이 한층 강화될 예정이다.

일본 과학기술의 장래는 나노이공학·재료 활용이 열쇠를 쥐고 있는 제조기술력과 국제적 사회적응력에 달려 있다고 해도 과언이 아니다. 이 같은 상황에 입각하여 본 프로젝트는 지금까지 10년에 걸쳐 실시되어 온 기술혁신력을 향상시킬 학제횡단형 인재육성과 링크하는 형태로, 향후 신산업의 국제경쟁력의 중추가 될 사회성·국제성을 중시한 인재육성 모델사업을 추진하고 있다.

구체적으로는 지금까지 활동으로 쌓아온 대학내 프로그램과 사회인용 프로그램을 발전시키는 동시에, 이들을 유기적으로 3개 이상 융합시킴으로써 산학제휴·국제제휴에 의한 이분야 융합의 과학기술디자인력, 안심·안전사회를 위한 컨셉트디자인력을 강화하여 세계에 통용되는 사회로 열린 제조 이공학 인재육성을 추진한다.

① 대학원생과 사회인과의 대화를 통한 시너지효과를 바탕으로 국제

정세를 파악함으로써 사회책임을 다하는 과학기술자를 양성하는 열린 나노과학기술교육을 추진하며, 사회수용과 과학기술로드맵의 이해를 통해서 이와 관련된 과학기술 대화력과 사회에 발신력을 높이기 위한 교육을 실시

- ② 산학컨소시엄과의 제휴로 재료의 리스크관리와 국제표준화를 실천하는 계측기술력을 향상시키고, Onlabo 인턴십과 같은 대학원생의 산학협동 훈련을 기획·실시하여 클린이노베이션을 담당할 나노기술디자인과 지역제휴 제조인재 네트워크형성을 추진
- ③ 이들 활동과 함께 해외 대학·연구기관과의 제휴를 통해 국제조직간의 제휴활동 또는 인적 네트워크를 활용하여 국제품질에 대한 지식과 스스로 사회수용을 발신할 수 있는 능력획득을 목표로 대학원 나노 이공학 인재육성의 국제화를 추진하며 해외학생과의 공동작업·토론을 통해 대학원생의 국제경쟁력을 향상

여기서 나노사이언스·테크놀로지는 복합학제성, 맹아성이 새로운 과학기술의 근간이기 때문에 전력력, 응용력, 학제력, 구상력 등 균형 있는 지식과 능력이 요구된다. 이 때문에 과학기술을 이용한 재료·디바이스·시스템이 국제사회에 받아들여지기 위해서는 사회수용과 국제성을 가미한 차세대에 걸맞는 나노과학기술을 종합 디자인하는 것이 중요하다.

향후 제조산업에서는 새로운 개념으로 사회변혁을 일으킬 신기술·시스템이 필요하다. 하나의 사례로 iPad처럼 직접 개개의 제조기술을 보유하지 않고 이들을 조화시켜 사회변혁을 일으킨 것과 같이, 이제까지 없었던 획기적인 제품이 해외에서는 창출되고 있다.

일본 제조기술의 장래는 안심·안전 분야에 대해 재료기술 개발능력이 탁월하기 때문에 사회이노베이션을 산출하는 컨셉트디자인력을 강화하는 것이 필수가 될 것으로 생각된다. 이의 일환으로 오사카대학에서는 이미 토요강좌의 형태로 교육을 실시하고 있으며, 개요는 다음과 같다.

강좌의 목적은 나노기술을 기반으로 하는 제조기술 과학기술자가 가져야 할 사회관련성·세계동향 등 사회에 도움이 되는 과학기술에 대한 감각을 기르기 위한 것으로, 대학원·사회인 등 프로그램에 속해 있는 모든 수강생이 참가할 수 있다.

2014년도부터는 연간 8회, 매회 10시부터 17시까지 6시간의 강의·토론으로 진행되며, 최종일에는 실습이 부가되고 사회수용, 기술디자인 2과제로 실시된다.

다음은 2013년도에 실시된 강좌의 사례로, 자세한 내용은 아래와 같다.

① 나노기술 사회수용 특론

수업은 정책담당자 및 기업의 개발담당자, 오사카대학의 교원 등이 담당하며, 각 수업은 총론·각론에 대한 강의와 토론으로 구성되어 있다.

수강생은 나노기술 사회수용이론, 나노계측과 표준화, 나노리스크 관리, 나노기술의 국제표준화 등의 강의를 수강함으로써, 사회수용에 관한 시야를 익히고 산업화하는 과정에서의 문제점을 파악할 수 있으며, 글로벌관점에서의 표준화 및 리스크평가 관리방법 등의 기초지식과 종합디자인, 과학기술정책에 대해 학습하게 된다.

이를 바탕으로 수강생들은 일렉트로닉스, 바이오, 에너지·환경, 초정밀가공, 재료, 계측평가 등을 주제로 자신의 전문분야에 대해 사례연구를 실시한다.



<그림 4-2> 나노기술 사회수용특론 강의 모습

※ 프로그램 담당 코디네이터: 아타 마사후미(산업기술총합연구소(AIST), 나노기술전략실)

② 나노기술 디자인특론

수업은 나노센싱, 디스플레이, 나노디바이스, 생체시뮬레이션, 연료전지, 초정밀가공, 나노재료, 나노미립자, 나노계측 등을 주제로 총론·각론 강의 및 토론으로 구성되어 있다. 강의는 주제별 산업계의 로드맵 작성자와 오사카대학의 교원이 공동으로 진행하고, 강의별 로드맵은 나노기술비즈니스추진협의회(NBCI)가 매회 제공한다.

자세한 사항은 나노기술 로드맵 소개와 그 활용법(예: 디스플레이), 나노기술의 성과 가시화 활동(예: 스마트센서, 자동차, 에코하우스로부터 환경에너지와 의료바이오, 축(蓄)에너지(연료전지와 2차전지), 프린터블 일렉트로닉스, 나노바이오테크놀로지, 나노일렉트로닉스) 등이다. 담당코디네이터는 NBCI 테크놀로지위원회 부주사 유키마사키씨.

수강생들은 기술로드맵 연습과정을 통해 기술로드맵을 활용하여 글로벌 사회의 조류, 제품디바이스, 요소기술을 해설하고 이를 토대로 자신의 전문분야에 대해 사례연구를 실시한다. 이러한 활동은 단순히 로드맵을 작성하는 것이 목적이 아니라 작성과정 중 토론전개를 통해 수강생 스스로 과학기술에 대한 자신의 견해를 정리하게 함으로써, 나노기

술 요소기술을 종합디자인 하는 능력을 길러 '유용성의 계곡(기술의 돌
과구)'을 극복하기 위한 실력을 향상시키기 위함이다.

이와 같은 체제는 기존의 대학에서 전례가 없는 교육방법으로, 산학제
휴 상호 인재육성의 결과라고 할 수 있다.

오사카대학 나노기술 고도학제교육연구훈련프로그램은 현재 2014년도
사회인교육프로그램 수강생을 모집하고 있다. 사회인 교육프로그램에서
는 냉철한 감성으로 신분야·신산업에 기여할 나노테크 디자인력을 가진
기술자, 신사업창출을 가능토록 하는 국제적 산업인 육성을 목표로 하
고 있다.

< 프로그램 개요 >

- ① 나노분야 최첨단과학기술을 배우는 특징 있는 6개 코스
 - 나노물질·나노디바이스 디자인학
 - 초분자·나노바이오학
 - 나노일렉트로닉스·나노재료학
 - 나노구조·기능계측해석학
- ② 더욱이 이하의 테마를 토대로 프로그램 전체로부터 선택된 강의
로 구성되는 횡단형 새로운 코스로, 에너지·환경, 나노이공학,
나노기능화학
- ③ 토론에 중점을 둔 참가형 토요집중강좌(전·후기 각 4회)
 - 나노기술 사회수용론: 리스크관리·표준화, 과학기술커뮤니케이
션 등
 - 나노기술 디자인론: 로드맵·사회컨셉트 디자인 등
- ④ 이업종기술자와의 활발한 교류를 도모할 수 있는 단기집중실습

코스별로 설정된 테마

- 스쿨링에 의해 오사카대학 내의 연구실에서 소인수로 실시
3-5일×1회/년
- 수강코스는 6개코스 가운데 선택가능하며, 1시간 30회(각 코스 3시간/회)의 야간강의(18시-21시), 연8회의 토요일집중강좌 및 3-5일간 스쿨링에 의한 단기집중실습으로 구성된다.
- 모집기간: 2014년 1월27일-2월28일
- 개설교실 (야간18시-21시)

이 프로그램의 소정코스를 수료한 자에게는 오사카대학 총장 및 센터장명으로 '나노프로그램' 이수인정서를 수여한다. 또 수료 시, 대학원 박사 전기과정의 정규단위 9단위를 부여하여 필요에 따라 대학원 이수과목 성적증명서도 발행 가능하다.

제5장 나노 안전(EHS)

일본은 현시점에서 나노물질에 특화된 규제를 도입하기 위한 근거가 될 과학적인 사실은 인정되지 않을 것으로 판단하고, 기존제도 하에서 대응한다는 입장을 취하고 있다.

이에 나노물질 관련정보 수집에 대해 충분히 검토하여, 향후 새롭게 수집되는 정보를 토대로 예방적 차원에서 필요에 따라 나노물질에 적용할 수 있는 새로운 체계에 대해 검토하는 것이 적절하다는 입장이다.

그러나 각 부처의 대응은 계속되고 있다. 먼저 경제산업성은 생산자에 의한 자율적인 안전대책을 제창하며 대책의 투명성을 확보하고자 나노재료의 특성, 안전·환경대책 등의 보고를 요청해 경제산업성이 이를 공표하는 정보발신프로그램을 실시할 뿐만 아니라 민간 기술연구소 위탁을 통해 해외 나노 안전성 정보를 꾸준히 수집하여 관련 단체 등과 정보를 공유하고 있다.

2012년에는 나노물질의 관리에 관한 검토회를 설치하였으며, 그 산하에 리스크평가워킹그룹, 계측기술워킹그룹을 두고 나노물질을 사용한 제품의 노출 시나리오와 이를 토대로 한 리스크평가 시험, 나노물질의 계측법 등 나노물질의 관리방안을 검토하고 있다.

환경성의 경우, 사업소에서 나노재료의 배출을 방지하기 위한 가이드라인을 책정하였다. 그러나 이 가이드라인은 법적 구속력은 가지지 않는다.

2011년 후생노동성은 나노재료의 리스크평가에 착수하여 노동위생상의 대책에 활용하려는 움직임을 보이고 있다. 또한, 화학물질의 건강리스크평가방법의 신속화·고도화, 어린이 등 취약층에 대한 영향, 나노재료 등 신규소재의 건강영향 등에 대해 조사·연구를 추진하고 있다.

<나노물질의 유해성 등 조사사업(2009-2014)>

- 나노물질의 흡입에 의한 장기 암원성시험의 예비시험을 실시하기 위한 시험장치의 개량 및 성능확인시험의 실시
- 유전자독성시험에 의한 나노물질에 관계되는 유해성 등 정보수집
- 나노물질의 유해성조사에 대한 OECD 등 국제회의 참석
- 나노물질의 작업환경중에 측정·평가 및 나노물질의 노출방지대책 등에 대한 정보수집

1. 일본의 EHS 대응 배경

나노기술은 기존 재료에서는 찾아볼 수 없는 뛰어난 성질을 가진 신소재를 얻을 수 있는 가능성이 높다는 점에서 국제적으로 적극적인 연구개발이 추진되어 왔다. 이미 카본블랙, 실리카, 산화티탄, 산화아연 등의 다양한 나노물질이 생산되고 있으며, 용도 역시 타이어, 실리콘고무, 화장품, 의약품 등 일반 소비자용 제품으로 이용이 확대되고 있다. 더욱이 근래 들어 융합재료 등에 대한 연구개발이 활발함에 따라 이를 이용한 획기적인 제품개발이 기대되고 있으며, 향후 새로운 나노물질이 개발되어 다양한 용도로 이용될 것으로 예상되고 있다.

일본 나노기술의 주요 특징은 재료과학기술 경쟁력을 꼽을 수 있는데, 그 이유는 재료과학기술의 강점이 곧 나노기술 강점의 원천이 되기 때문이다. 이러한 상황을 반영하여 일본의 과학기술정책 조정·자문기관인 내각부 종합과학기술회의는 2001년부터 2005년도까지 제2기 과학기술기본계획에서 나노기술을 재료과학기술과 융합시킨 나노기술·재료분

야를 우선과제로 선정함으로써 이에 대해 집중적으로 자원을 배분하였으며, 뒤이어 2006년 4월부터 시작된 제3기 과학기술기본계획에서도 지속적인 지원이 이루어졌었다.

한편 미국·유럽을 중심으로 나노기술 리스크에 대한 논의가 지속적으로 이루어지고 있다는 점에서, 나노기술의 책임 있는 연구개발 수행과 건전한 육성을 위한 정책을 포함시킴으로써 나노기술의 사회적 영향에 관한 검토와 연구를 종합적·전략적으로 추진하고 있다.

나노기술분야에서 리스크의 중요성이 이처럼 대두된 데에는 유전자변형농산물(GMO)의 전례가 있다. GMO는 연구개발로서는 성공하였고 리스크도 확인되지 않았지만, 유전자조작이라는 불안의식에서 세계적으로 수용되지 못했다. 이는 미국·유럽 등의 선진 국가들에게 큰 교훈이 되었고, 이후 2000년경부터 나노기술의 사회수용에 관한 활동이 미국을 비롯하여 유럽으로까지 이어졌다. 이런 가운데, 2004년경부터는 나노입자의 리스크 관리라는 과제를 해결하기 위한 시책이 산업기술총합연구소(AIST)를 비롯한 공적 연구기관과 대학, 민간사업자 등에서 본격화되기 시작했다.

특히 일본은 대표적인 제조업 선진국이자 탄소나노튜브와 선크림에 이용되고 있는 나노크기의 이산화티탄, 산화아연 등과 같은 나노재료의 대량생산국이기도 하다.

따라서 이들 재료를 비롯한 나노재료의 환경·보건·안전(EHS)에 대한 대응은 향후 관련 산업에 막대한 영향을 미칠 것으로 보인다. 이에 따라 일본은 화학물질관리 담당부처인 경제산업성, 후생노동성, 환경성의 지원 하에 산업기술총합연구소(AIST), 의약품식품위생연구소, 노동안전위생연구소, 환경연구소, 물질·재료연구기구(NIMS) 이외에도 많은 대학의 연구자들이 나노기술의 사회수용의 관점에서 대응에 나서고 있다.

<표 5-1> 주요 나노물질의 용도와 특성

	주요 용도	주요 특성	제조·수입량	유해성관련 주요 정보
탄소나노튜브	반도체 트랜지스터, 전도패이스트, 고속 동작트랜지스터, 연료전지 수소가스흡장	전도성, 고강도, 전열성, 전자과차단성, 성형품의 표면평활성	약500t	마우스 및 랫트의 투여에 의한 복강내에서의 중피종의 발생 보고 동물에 흡입노출시험에서 폐의 염증, 섬유화, 전신성면역억제 등이 인정되고 있음.
플러렌	스포츠 용도 (라켓, 골프클럽 등)	반발 성능의 향상, 경량화, 강도향상	1t 미만	인간피부유래의 섬유아세포를 이용한 시험에서 강한 세포독성이 있다는 보고가 있지만 시험에 쓰인 유기용매에 의한 가능성도 지적되고 있음. 임신한 마우스에 복강내 주사에 의해 중뇌세포의 분화 등에 영향이 보고되고 있지만 인간의 일반적인 노출경로는 아님. 수용성을 부가한 플러렌유도체의 비경구경로에서의 독성이 보고되어 있음.
산화티탄(나노입자)	화장품, 도료, 토너 외부첨가제	자외선차단효과, 광촉매 작용으로 인한 셀프클리닝기능	제조량 약 950t	랫트를 이용한 흡입시험 및 기관내 투여시험에서 폐종양의 증가가 보고됨. 동물을 이용한 시험에서 나노입자가 다른 크기의 입자보다도 강한 폐염증과 폐간질로 이행을 보인다는 것이 보고됨.
카본블랙	타이어(고무의 보강), 안료, 전도성 용도	전도성, 착색성의 향상	제조량 약 81만 4000t 수입량 약 18만 5000t	IARC발암성평가'2B' 제조공장 등의 노동자에게 폐암사망과 방광암 나환의 증가를 인정하는 보고가 있음. 랫트의 2년 흡입노출시험에서 폐종양이 인정됨.
은(나노입자)	<은나노입자> 전자디바이스	<은나노입자> 소량으로 전	은 나노입자: 약	랫트나 마우스의 시험결과에서 투여 후 24시간만에 혈액뇌관문을 파괴하

	의 집합.배선 재료, 적층세라믹콘덴서, 프린트배선판, 반도체 <은 + 무기미립자> 향균제	도성을 얻을 수 있음. 미세한 회로 형성 <은 + 무기미립자> 비표면적의 확대에 의한 항균 효과의 향상	5t미만	고 뉴우런변성과 뇌부종을 일으킨다는 것이 보고되었음. 랫트에의 반복투여시험에서 간 담관의 과형성, 만성폐포염 등이 보고됨.
텐드리머	종이 코팅제, 화장품	종이 코팅의 점도 저하, 리올로지(유동학)의 제어 화장품의 발수성, 발유성, 지속성 향상	제조량 약 5t	양성에 대전한 텐드리머가 인간의 적혈구세포의 용해를 일으키는 것으로 알려짐. 폴리아미드아민 텐드리머의 마우스에의 기관내 투여에 의해 폐의 염증에 의한 사망이 보고됨.
산화셀륨 (나노입자)	반도체의 연마제	반도체 회로 폭의 미세화에 대응한 연마성능	제조량 약 30t	암모니아 산화세포균에 독성을 나타냈다는 보고가 있음. 다른 산화금속 나노입자에 비해 세포독성이 낮다는 보고가 많음.
실리카 (건설실리카 등)	실리콘고무의 첨가제, 섬유 강화플라스틱, 도료, 토너, 잉크, 섬유, 종이, 의약, 화장품, 농약	고무 강화의 향상, 절연성, 유동성, 착색성, 내수성 향상, 증점제, 침강방지제, 안정제, 대전(帶電)방지	제조량 약 5만t 수입량 약 2만t	IARC의 발암성 평가에서 결정질의 실리카는 1로 분류되고 있지만 건설실리카 등의 비정질실리카는 3으로 분류되고 있음. 비정질 실리카 나노입자의 랫트에의 흡입시험에서는 주로 고령의 랫트에서 폐의 염증 등이 보임. 실리카나노입자와 실리카나노와이어의 제브라피쉬배에 대한 초기형성이 보고됨.
철(나노입자)	PC데이터백업용 테이프, 업무용 비디오 테이프	기록 밀도의 향상	철 메탈 성분 제조량 약 300t	의 랫트에의 기관내 투여에서 폐의 염증이 보고됨. 철입자의 마우스에의 기관내 투여에서 폐의 만성 염증의 반응이 보임.
산화알루미늄(나노입자)	전자부품, 봉지제, 세라믹 제품, 화장품	화학적 안정성, 기계적 강도향상, 전	제조량 약 700t	랫트를 이용한 흡입시험에서는 고용량(28mg/m ³)에서 폐의 염증이 보임. 랫트에 기관내 투여해서 염증반응을

		기절연성		조사한 결과, 나노사이즈입자에서는 유의한 영향은 보이나, 마이크론 사이즈에서는 안보임.
폴리스틸렌 (나노입자)	화장품, 디스플레이의 반사방지광확산제	파운데이션 등의 부드러움의 부여, 굴절율을 이용한 반사방지광확산	화장품 용도 제조량 약 15t	랫트에의 기관내 투여시험에서 입자의 표면적이 폐의 염증에 관여하고 있다는 보고가 있음. 대전한 입자의 혈액에의 영향시험에서는 -에 대전한 작은 입자가 용혈 등을 보다 작은 농도로 일으킴.
산화아연 (나노입자)	화장품, 의약품, 섬유, 도료	자외선 차단 효과, 투명성 향상, 비표면적 확대에 의한 항균·탈취효과	제조량 약 400t	랫트 등의 흡입노출시험에서 단회노출에서 폐의 염증등, 반복투여로 폐의 간질의 염증 등이 보고됨. 임신한 랫트의 기관내 투여에 의해 임신율이 저하됐다는 보고가 있음.
나노클레이	농약의 침강방지제, 도료, 화장품	침강방지, 틱소트로피성, 점도 조정	고순도 벤트 나이트 제조량 약 200t	층상금속수산화물 나노입자인 음이온클레이, 천연 몽모리온아이트 유래의 나노규산염 플레이틀레트, 아미노프로필칼슘필로규산염의 나노입자가 배양세포에 대해 세포독성을 나타냈다는 보고가 있음.

※ 제조·수입량은 2009년도 후생노동성 위탁사업 나노물질안전대책조사보고서(미쓰비시화학태크노리서치)의 자료

2. 일본의 EHS관련 동향

이와 같은 상황은 나노기술의 사회적 영향에 관한 정보공유의 장과 네트워크 구축이 중요한 과제로 부각되어, 산업기술총합연구소 기술정보부문(당시)는 2004년 8월5일 공개토론회 ‘나노기술과 사회’를 개최하였다. 이는 2005년 3월까지 공공연구기관 및 정책담당자, 대학, 민간기업, 시민, 언론 등이 참가하여 총 7회에 걸쳐 진행되었다.

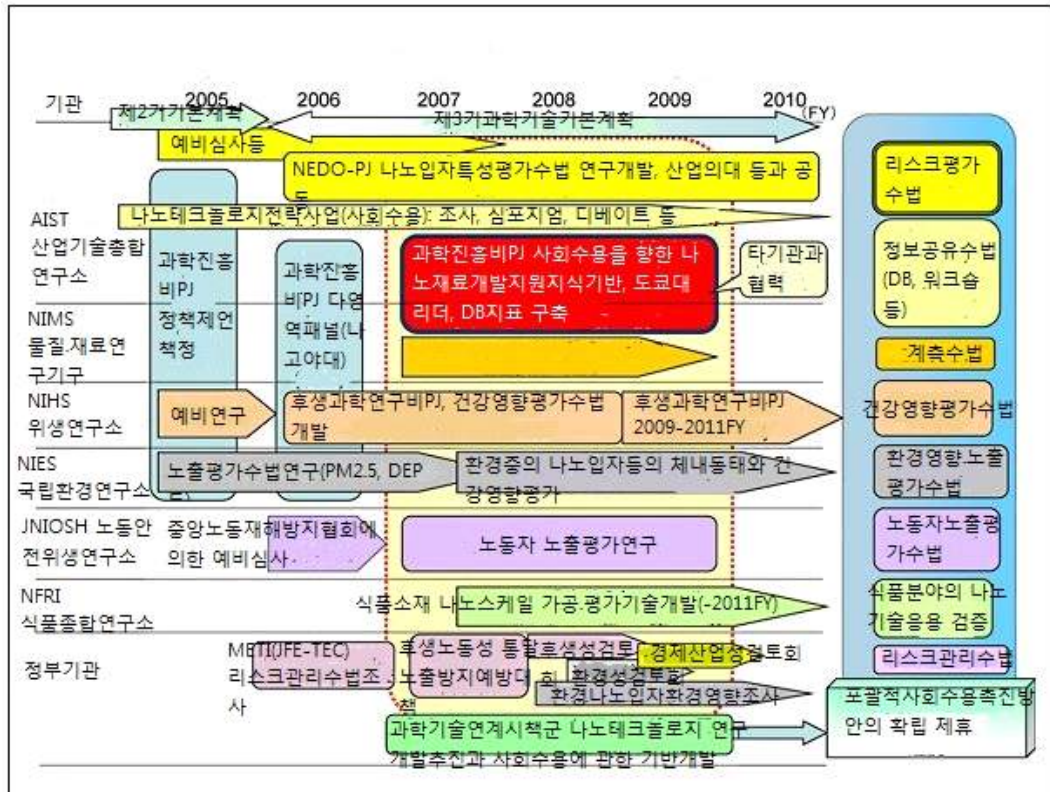
나노기술의 사회적 영향에 관한 공개토론회와 제1회 심포지엄에 참가한 공공연구기관 4개처, 대학 및 민간단체는 2005년도 문부과학성과학

기술진흥조정비 프로젝트(‘나노기술의 사회수용촉진에 관한 조사연구’)로 이어졌고, 그 프로젝트는 다음과 같은 테마로 실시되었다.

- ① 나노물질의 리스크관리방법에 관한 조사연구
산업기술총합연구소(화학물질리스크관리연구센터)
- ② 나노물질의 건강영향에 관한 조사연구
국립의약품식품위생연구소(안전성생물시험연구센터)
- ③ 나노물질의 환경영향에 관한 조사연구
국립환경연구소(환경건강연구영역, 화학환경연구영역, 화학물질 환경리스크연구센터), 산업의과대학
- ④ 나노기술의 윤리·사회영향에 관한 조사연구
물질·재료연구기구(에코머터리얼연구센터), 나고야대학, 요코하마국립대학
- ⑤ 나노기술의 사회수용촉진을 위한 기술평가, 경제효과의 조사연구
산업기술총합연구소(기술 정보부문, 예측표준 연구부문, 나노기술 연구부문), 나노기술 비즈니스 추진협의회(NBCI), 민간기업, 대학, NGO 등

이후 구체적인 사회수용에 관한 프로젝트가 본격화되었으며 프로젝트는 다음과 같다.

이 가운데 핵심적인 프로젝트는 경제산업성 신에너지산업기술총합개발기구(NEDO)와 후생노동성의 연구비로 실시된 ‘나노입자의 특성평가방법 개발’이다. 이 프로젝트는 5년 간 산업기술총합연구소 내 6개 연구부문과 산업의과대학을 포함한 6개 대학으로부터 약 50명의 연구원이 참여하여 세계에 일본발 리스크평가 방법을 제시한다는 목표를 세웠다.



<그림 5-1> 일본의 나노기술 사회수용에 관한 프로젝트(AIST)

나노물질의 안전대책에 관한 과학적 식견을 충실히하기 위해 NEDO 프로젝트로 실시된 ‘나노입자의 특성평가 방법개발’은 5년간의 연구 끝에 CNT, 플러렌, 이산화티탄의 리스크평가서를 발표했다. 총 3권으로 된 리스크평가서 외에도 리스크평가에 대한 접근법, 유해성시험을 위한 시료 조제와 계측을 위한 요령, 배출·노출평가서, 유해성평가를 위한 요령 2권, 대기중입자의 교정에 관한 요령 4권, 필터에 관한 요령 2권, 사회수용을 위한 비전을 공개했다.

<나노입자의 특성평가방법 개발> 사업 · 프로젝트 개요

사업기간 : 2006년~2010년(2011.2 종료)

프로젝트리더 : 나카니시 준코(AIST 안전과학연구부문 부문장)

획기적 신소재로 기대되고 있는 플러렌, 탄소나노튜브, 이산화티탄 등의 공업나노입자는 같은 화학적 성분을 가지고 있으면서도 구조의 차이에 의해 그 물리화학적 특성이 현저히 다른 경우가 있어 화학물질로 축적해 온 기존의 리스크평가 방법을 그대로 적용하는 것이 어렵다고 알려져 있다. 또 나노기술 자체가 발전단계에 있는 선진기술이며, 공업나노입자의 특성평가 기술이 충분히 확립되어 있지 않은 상황이다.

이에 본 연구개발에서는 공업용 나노입자가 인체와 환경에 미칠지도 모르는 잠재적 영향에 대해 정보의 수집·정비에 나서는 한편, 리스크평가에 필요한 물리적·화학적 특성을 비롯한 공업나노입자의 특성화 방법, 환경농도, 환경방출발생원, 환경내 거동 등의 해석기술을 포함한 노출평가 방법 및 기초적인 유해성평가 방법을 개발하는 등 이들을 이용한 공업나노입자의 리스크평가 방법 확립을 목적으로 한다.

- 공업나노입자의 리스크평가에 필요한 방법 개발
 - 물리화학특성을 비롯한 특성평가 방법
 - 환경농도, 환경방출발생원, 환경내 거동, 해석기술 등의 노출평가방법
 - 기초적인 유해성평가방법
- 이를 이용한 공업나노입자의 리스크평가·관리방법을 확립

개발 테마와 예산

개발 테마	예산배분
공업나노입자의 특성평가방법 개발	30%
공업나노입자의 노출평가방법 개발	10%
공업나노입자의 유해성평가방법 개발	50%
공업나노입자의 리스크평가 및 적정관리 방안의 구축	10%

사업 예산추이

(단위: 백만원)

2006	2007	2008	2009	2010	전체
374	436(45)	356	393(50)	400	1959

※괄호 안은 가속예산

사업 파급효과

- o 산업나노입자의 책임 있는 개발 촉진
- o 나노기술산업의 국제경쟁력 강화
- o 산업나노입자에 의한 인체피해의 미연방지

ISO와의 관계

나노기술 표준화에 대해 일본 국내심의위원회 사무국은 산업기술총합연구소가 맡고 있으며, NEDO 프로젝트는 연구성과를 제공하여 표준화에 나서고 있음.

- o 액상, 기상 중 산업나노입자 입경 등을 계측·교정하는 방법(ISO 제안 중, ISO개정에 대응하여 제안예정, VAMAS TWA34 및 APMP의 측정수준 제안 중, ISO제안)
 - In vitro 시험용 새로운 시료조제법 : ISO제안 예정
 - 필터 포집효율평가방법 : ISO/JIS 제안예정

o CNT의 비산성(Dustiness)결과 : ISO/DIS12025에 방법과 수순 반영
: 2011년 11월4일 요하네스버그에서 개최된 ISO/TC229/WG3 회합
에서 일본 제조물질의 위해성 평가방법 발표(Development
of methodologies for risk assessment of manufactured
nanomaterials in NEDO Project(FY 2006-2011) Japan.

OECD활동

2005년6월: 제38회 OECD 화학품합동회합 특별세션(파리)에서 의견표명

2005년12월: OECD 주최 심포지엄(워싱턴DC)에서 로드맵 발표

2006년10월: 제1회 공업나노재료작업부회(WPMN)에서 일본구상고평가

2007년11월28-30일: 제3회 WPMN회합(파리)에서 스폰서십프로그램참가

2008년4월: OECD와의 공동개최로 국제심포지엄 개최(도쿄)

2011년12월: 제9회 OECD/WPMN(파리) NEDO프로젝트에 대해 보고,
(Risk assessment of nanomaterials- Searching for critical
factors in human health risks)

이 프로젝트가 주목을 받는 것은 종합적인 리스크 평가라는 점이다. 당시 해외에서는 많은 리스크평가 관련연구가 이루어지고 있었지만 대부분이 유해성평가에 그쳤다. 나노재료의 유해성 발현요인으로 추정되는 것은 바로 나노의 크기효과이며, 나노재료의 크기가 작아짐에 따라 같은 중량의 용량이라도 염증을 나타내는 바이오마커가 보다 높게 나온다는 일부 보고가 있었다.

따라서 나노크기 효과의 여부를 밝히는 것이 급선무가 되었다. 이에 NEDO 프로젝트에서는 우선 나노입자의 특성화에 중점을 두고 나노입자에서의 측정을 할 수 있는 시료조정과 분산제, 계측 등 종합적인 리스크 검증 방법 확립에 나섰다.

이와 병행하여 2007년에 설치된 내각부 종합과학기술회의의 기본정책 추진전문조사회의 분야별 PT과학기술연휴시책군의 하나로 나노기술의 연구개발 추진 및 사회수용에 관한 기반 개발이 선정됐다. 이 연휴시책군의 보완적 과제로 '사회수용을 위한 나노재료개발지원 지식기반 프로젝트'가 선정되어 산업기술총합연구소, 도쿄대, 물질·재료 연구기구가 공동으로 프로젝트를 실시하였다. 이 프로젝트에서는 재료공정에서 리스크 정보까지를 체계화함으로써 논문검색까지 가능토록 하는 데이터베이스지표를 확립하는 것이 목적이다.

한편 NEDO 프로젝트는 2011년2월 종료되었지만, 프로젝트의 성과물인 평가서는 나노물질의 리스크 관리에 관한 부처에 영향을 미치고 있다. 경제산업성은 NEDO 프로젝트의 중간보고를 통해 2008년 11월 나노물질제조사업자 등에 대해 안전대책 방안 연구회를 발족시켜 보고서를 정리했다. 또한 2011년 10월, 후생노동성은 평가서의 완성본이 보고되자 2011년도 화학물질의 리스크평가검토회를 발족시켜 '직장에서의 건강장해 방지를 위한 나노물질의 리스크 평가에 대하여'라는 의제를 검토하기 시작했다. 뿐만 아니라 경제산업성 역시도 2011년 12월, 나노물질의 관리에 관한 검토회를 발족시켜 논의를 계속하고 있다.

또한 현재 NEDO프로젝트의 후속프로젝트로 두 가지 연구프로젝트가 추진 중이다.

- ① 저탄소화사회를 실현하는 혁신적 탄소나노튜브 복합재료개발(연구개발항목[나노재료간이 자주안전관리기술의구축(2010-2014), NEDO]) : 사업자에 의한 간이·신속·저가의 자주관리방법의 연구개발,
- ② 나노재료의 안전·안심확보를 위한 국제선도적 안전성평가기술 개발(2011-2015, 경제산업성 위탁사업): 합리적이고 효율적인 유해성평가의 체제 구축

한편 후생노동성에서는 나노물질의 안전성의 평가방법과 안전대책 등에 대해서 검토를 실시하기 위해 전문가 및 소비자 측의 대표 등을 위원으로 하는 ‘나노물질의 안전대책에 관한 검토회’를 2008년 2월에 설치하고 검토회를 개최했다.

<‘나노물질의 안전대책에 관한 검토회’ 개요>

- o 검토 범위: 나노물질 및 이를 함유하는 제품의 안전대책을 검토.
- o 검토대상 나노물질의 범위: 100nm 정도 이하의 나노크기의 입자(분자) 및 그 응집체.
- o 개발 현황 및 과학적 정보 : 나노물질의 생산량·용도에 대한 2007년도 후생노동성 위탁조사에 따르면 카본블랙, 실리카 및 산화티탄의 사용량이 많으며, 주요 용도는 가전·전기전자제품, 화장품 및 도료·잉크.
- o 나노물질의 생체에 대한 영향 : 나노물질은 일반 화학물질과는 다른 성질을 가지고 있다는 점이 알려져 있지만 현단계에서는 나노물질이 인체에 영향을 미친다는 보고는 없음. 또 인체에 대한 영향을 예측하기 위해 필요한 충분한 데이터를 얻을 수 있는 상황은 아님.

3. 나노물질 규제 동향

일본에서 나노재료의 유해성연구는 경제산업성, 신에너지산업기술종합개발기구(NEDO)와 후생노동성의 투자로 실시되고 있다. 그러나 이러한 연구를 통해 연구실·작업현장에서의 나노재료취급에 대한 자율적인 가이드라인 등은 작성되었지만, 화학물질의 안전성을 확보하기 위한 법률로 약사법, 식품위생법, 화학물질관리심사법(화심법) 등을 제외하고는 나노재료에 특화된 규칙이나 화학물질의 크기에 대한 규제는 없다.

그러나 2008년에 국립의약품식품위생연구소, 도쿄도 건강안전연구센터

의 연구자들에 의해 다층탄소나노튜브(MWCNT)가 아스베스트(석면)처럼 중피종을 발생시킨다는 복강투여동물실험결과가 발표되면서 일본 내에서 나노물질의 EHS에 대한 논의가 활발해졌다.

<논문 요약 'Mesothelioma by MWCNT in p53+/- mouse' >

탄소계 나노재료는 한개 이상의 차원이 마이크로미터 단위의 크기 되는 다양한 형태의 입자를 형성하는 경향이 있다. 그 가운데 다층탄소나노튜브는 길이가 대략 10-20 μ m로 중횡비가 3이상의 섬유상 또는 막대모양의 입자를 형성한다. 아스베스트(석면) 및 인조섬유를 포함해 이 크기의 섬유상 입자는 폐암성, 전형적으로는 중피종을 일으킨다는 것이 보고되고 있다.

본 보고서에서는 아스베스트에 높은 감수성을 나타내는 것으로 알려져 있는 p53헤테로결실마우스에 MWCNT를 복강 내 투여했을 때, 양성대조물질의 크로시트라이트(청석면)과 마찬가지로 중피종이 야기된다는 점을 보고한다. 이 결과는 탄소로 구성되는 마이크로미터 크기의 섬유상 또는 막대모양의 입자도 아스베스트에서 예상되는 발암 메커니즘을 공유할 가능성을 시사하고 있다.

나노재료의 산업화를 적절히 계속하기 위해서는 그 생물학적 특성에서 알 수 있는 원성에 관한 특성, 특히 그 생체 내에 대한 장기간 구성(biodurability)이 충분히 평가될 때까지 노동환경 및 장래의 시장의 양자에 대해 섬유상 또는 막대모양의 탄소입자 노출을 적절하게 제어하는 전략을 실행하는 것이 현명할 것이다.

이전까지 해외에서 나노입자에 관한 많은 논문들이 보고되었지만 시험과정에서 다양한 문제점들이 지적되어 왔기 때문에, 일본정부로서는 명확한 대응을 하지 않았다. 그러나 후생노동성 산하의 연구기관에서 CNT의 유해성에 대한 논문이 발표됨에 따라 후생노동성도 이에 대한 대응을 서두르게 되었다. 이에 따라 후생노동성은 2008년 '나노재료에 대한

노출방지 등을 위한 예방적 대응에 대해서'라는 지침을 발표하고, 나노 재료생산·취급사업소에서의 보호구 착용, 국소배기장치의 설치 등을 요청했다. 이후 관련사업자 등의 혼란을 방지하기 위해 2009년 3월31일 개정판 지침을 공표했다.

<후생노동성 지침>

‘나노물질에 대한 노출방지 등을 위한 예방적 대응에 대하여’

근래 적극적인 연구개발이 이루어지고 있는 나노물질은 생체에 대한 영향에 대한 충분한 정보는 아직 얻지 못하고 있지만, 일부 물질에 대해 일정의 조건하에서 마우스 등에 영향을 미친다는 것을 나타내는 연구보고도 나오고 있다.

이 때문에 예방적 접근사고를 토대로 나노물질에 대한 노출방지의 대응에 대하여 2008년 2월7일자 기발제 0207004호 ‘나노물질 제조·취급작업현장에 대해 당면의 노출방지를 위한 예방적 대응에 대하여’를 발표하고 그 주지를 도모해왔지만 노동현장에서는 나노물질에 대한 노출방지 등 대책의 실효를 거두기 위해서는 작업현장의 실태를 반영하여 보다 구체적인 관리방법의 제시가 필요하여 2008년 3월부터 전문가들에 의한 검토회를 개최하여 보고서를 정리했다.

(<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2008/11/s1126-6.html> 참조)

이에 대해 별지와 같이 노출방지 등의 대책을 정리하였으니 관계사업장에 대해 본 대책의 지침을 전달하여 도모해주시기 바란다.

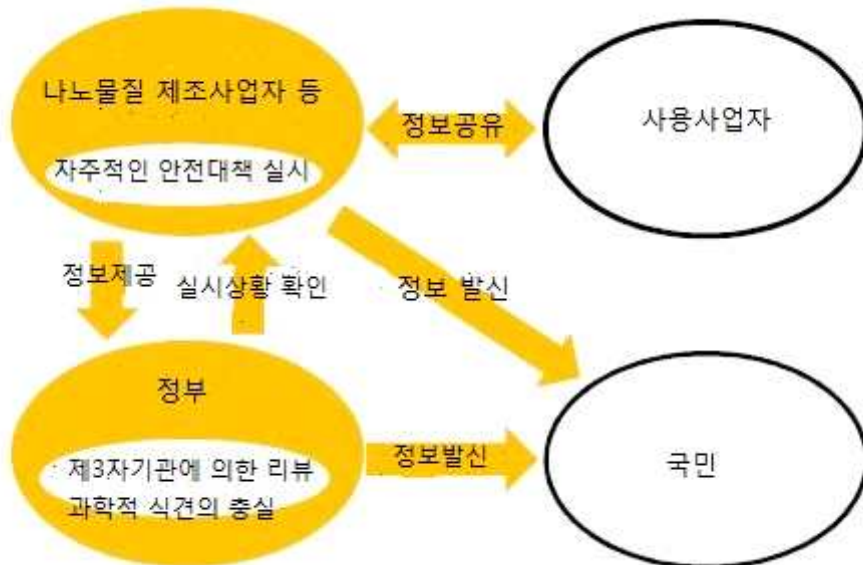
더욱 관계사업자단체에 대해서는 별첨1과 같이, 문부과학성연구진흥국장에 대해서는 별첨2와 같이 본 대책을 마련하였으니 양지해주시기 바란다.

덧붙여 2008년 2월7일자 기발 제0207004호 ‘나노물질제조·취급작업 현장에는 당면 노출방지를 위한 예방적 대응에 대하여’는 폐지한다.

<경제산업성 나노물질 정보수집·발신 프로그램>

배경

최근 나노물질이 인체와 환경에 나노물질 특유의 영향을 미칠 가능성을 시사하는 연구결과가 발표되어 나노물질의 안전성에 대한 우려가 확대되고 있다. 그러나 현재 상황은 안전성과 노출실태에 관한 과학적 식견이나 생산량의 통계 등이 부족하기 때문에 유해성이 불명확하다고 해서 대책을 강구하지 않는다면 건강에 대한 피해가 생길 우려도 있기 때문에 사업자의 자주관리에 의한 안전대책을 요구하는 동시에 국민의 불안을 불식하기 위해 안전성에 관한 과학적 식견, 자율관리에 의한 안전대책의 실시상황 등에 대해 적극적으로 정보수집 및 발신을 실시한다.



<그림 5-2> 나노물질정보 수집·발신프로그램 실시체계

2010년 3월31일 공표된 경제산업성의 ‘나노물질 정보수집·발신프로그램의 결과 공표에 대하여’에 따르면, 경제산업성에서는 나노물질제조사업자 등에 대해 안전대책연구회보고서에 입각하여 나노물질제조사업자 등으로부터 유해성정보와 자율적인 안전대책의 실시상황 등에 대해 정보를 제공받아 그 결과를 홈페이지에 공표했다. 이 프로그램에는 나노6개 물질 제조사업자 총 31개사가 정보를 제공했다. 6개 물질, 31개사는 다음과 같다.

<표 5-2> 나노물질 정보수집·발신프로그램

물질명	사업자명	비고
탄소나노튜브	GSI클레오스	
	쇼와덴코	
	일본제온	
	혼조케미칼	
	호도가야화학공업	
카본블랙	아사히카본	
	캐봇재팬(Cabot Corp.)	
	NSCC Carbon Co.,Ltd	
	도카이카본	
	미쓰비시화학 전기화학공업	
이산화티탄	쇼와덴코	
	이시하라산업	
	사카이화학공업	
	테이카	
	티탄공업	
	후지티탄공업	
	스미토모화학	
닛키축매화성		
플러렌	프론티어카본	NBCI 플러렌분과회 (6사 연명)
	Ideal star inc.	
	비타민C60바이오리서치	
	FLOX	
	미쓰비시상사 혼조케미칼	

산화아연	사카이화학	
	스미토모오사카시멘트	
	테이카	
	이시하라산업	
실리카	토쿠야마	
	일본에어로실(AEROSIL)	

정보수집 결과, 6개 물질의 일본국내 제조량은 탄소나노튜브(80T/년), 카본블랙(약 830,000T/년), 이산화티탄(약 14,000T/년), 플러렌(1T/년), 산화아연(약 670T/년), 실리카(10,000-100,000T/년)으로 추정 집계됐다.

안전성정보는 일부 사업자가 흡입노출시험 등 나노물질 특유의 유해성을 평가하기 위한 시험을 실시하고 있었다. 또 안전대책에 대해서는 많은 사업자들이 노동안전위생법 분진장해예방규칙, 후생노동성노동기준국장통지 등에 입각한 안전대책을 실시하고 있었다. 또 법령을 토대로(카본블랙, 이산화티탄, 산화아연 및 실리카), 또는 자율적으로(탄소나노튜브 및 플러렌), MSDS(화학물질등 안전데이터시트)을 출하처에 제공하고 있었다. 많은 참가사업자들은 이번 정보제공을 계기로 통상적으로 사업자간 정보전달에 이용되고 있는 MSDS를 일반에 공표하게 됐다는 등 정보발신을 진전시키고 있었다.

환경성은 사업소에서 나노재료의 배출을 방지하기 위한 가이드라인을 책정하였으나, 이들 모두 법적인 구속력은 없다. 또한, 후생노동성은 2011년, 나노재료의 리스크평가에 착수하여 노동위생상의 대책에 활용하려는 움직임을 보이고 있다. 또 경제산업성에서는 2012년 나노물질의 관리에 관한 검토회를 설치하고 그 산하에 리스크평가워킹그룹, 계측기술워킹그룹을 두고 나노물질을 사용한 제품의 노출시나리오와 이를 토대로 한 리스크평가 시험, 나노물질의 계측법 등 나노물질의 관리방안을 검토하고 있다.

나노물질 안전대책의 방향 및 향후 구체적인 대응으로서는

① 나노물질의 개발상황과 사용실태 등을 주시하며 안전성정보 등의 수집에 나서며 수집된 정보를 소비자에 적극적으로 제공하면서 국민의 건강을 확보하는 관점에서 어떤 대책이 필요한지 계속해서 검토한다.

② 나노물질에 관한 기술은 발전도상의 최첨단기술이며 제조자책임의 관점에서 사업자가 개발의 단계에서 주체적으로 안전대책을 추진해야만 하지만 정부도 사업자와 협력해서 안전대책에 적극적으로 나서야 한다.

향후 구체적인 대응으로서는

① 나노물질의 안전성 및 그 사용실태 등에 관한 정보수집

현재 나노물질에 특화해서 안전성정보 등을 수집하는 법률상이 규정이나 체계는 없다. 그러나 나노물질 여부에 관계없이 의약품과 화장품 등에 대해서는 부작용 등 보고 등에 따라 개별 제품에 의한 부작용 등 정보가 수집되어 있다. 한편 식품이 원인으로 추정되는 건강피해 사례에 대해서는 도도부현 등을 통해서 도 가정용품을 포함한 소비생활용품에 의한 사망, 위해 등 중대제품사고에 대해서는 도도부현 등이나 경제산업성을 통해서 후생노동성에 보고되고 있다.

또 2007년도에는 후생노동성 위탁업무로 실용화되거나 혹은 실용화 직전의 21종류의 나노물질을 대상으로 나노물질제조사업자 등으로부터 청취조사를 실시하여 국내생산량과 용도정보를 파악하는 동시에 문헌조사 등에 의해 나노물질의 생체에의 영향 등에 관한 정보와 나노물질의 안전대책에 관한 국제적인 동향 등에 대해서 조사를 실시했다. 2008년도에는 정보수집의 우선도가 높다고 생각되는 다층탄소나노튜브 등의 나노물질에 대해서 보다 상세한 정보수집활동을 실시했다.

② 나노물질의 안전성에 관한 시험·연구의 추진

후생노동성에서는 후생노동과학연구비보조금 화학물질 리스크연구사업으로 대표적인 나노물질에 대해 나노물질의 안전성확인에 있어서 건강영향평가 방법의 확립과 나노물질의 경피독성평가방법의 개발, 나노물질의 체내동태가 시화방법의 개발 등을 추진했다.

③ 관계성청 등과의 협력

관계성청과의 협력에 대해서는 종합과학기술회의 산하에 설치된 나노기술의 연구개발추진과 사회수용에 관한 기반연구 등이 과학기술연휴시책군으로서 대응에 의해 내각부를 중심으로 각 부처 간에 정보교환·공유 등을 실시한다.

④ 국제기관 등과의 협력

후생노동성은 관계성청과 협력하면서 스폰서십프로그램 등 OECD의 시책에 적극적으로 협력하고 있다. 또 FDA 등 해외기관과도 정보교환을 실시하며 향후 이들 국제적인 대응을 계속 강화해나간다는 방침이다.

⑤ 소비자와의 리스크커뮤니케이션의 충실

사업자는 리스크커뮤니케이션을 적극적으로 추진하는 관점에서 소비자가 필요로 하는 정보에 대한 의견을 반영하면서 제품에 사용되고 있는 나노물질의 인체에의 영향 등에 대해서 정보를 수집하여 그 정보를 알기 쉬운 형태로 공개 및 제공함으로써 소비자의 신뢰성을 확보해야 한다. 또 정부 및 사업자는 나노물질의 안전대책에 있어서 소비자의 의견을 보다 적극적으로 반영시키는 체계에 대해서도 검토해야만 한다.

<표 5-3> 나노물질의 리스크평가 스케줄

물질/소재	2011	2012	2013	2014	2015
산화티탄	노동환경에 대한 측정법 검토 유해성평가서 작성	노출실태조사 (초기평가)	노출실태조사 (상세평가)	리스크평가 정리 (필요할 경우) 건강장해방지 조치의 검토	(필요할 경우) 법제도에 의한 규제
카본블랙		노동환경에 대한 측정법의 검토 유해성평가서 작성	노출실태조사 (초기평가)	노출실태조사 (상세평가)	리스크평가 정리 (필요할 경우) 건강장해방지 조치의 검토
탄소 나노튜브	암원성시험 (※) 실험동물의 13주간 흡입노출시험	암원성시험(※) (실험동물의 2년간 흡입노출시험) 노동환경에 대한 측정법 검토		노출실태조사 (초기평가) 유해성평가서 작성	노출실태조사 (상세평가)
플러렌 및 은			노동환경에 대한 측정법 검토 유해성평가서 작성	노출실태조사 (초기평가)	노출실태조사 (상세평가)

제6장 시사점

일본의 제4기 과학기술기본계획에서는 기반과학기술이 3대 전략과제마다 개별적으로 배치되어 융·복합화가 진행되고 있기 때문에 나노기술·재료 분야는 과거 10년에 걸쳐 형성되어온 학술·기술 분야의 네트워크가 분단될 우려가 있다.

각 정책과제와 이들을 해결하기 위한 방법으로는 학술·기술분야군을 매트릭스로 어떻게 균형 있게 결합시켜 전체를 추진해나갈 것인지가 과제이며, 제휴와 융합을 지속적으로 촉진하면서 나노 시스템화가 실현되도록 시책을 구체화 해 나가는 것이 중요한 문제이다.

정책적인 면에서는 나노기술·재료분야의 독립된 전략이 사라지면서 우려되었던 종합적인 전략기능 부재가 지적되고 있다. 또한 내각부에 설치되었던 전문가들의 나노기술·재료공통기반기술 검토위킹그룹도 활동을 종료했다. 그렇지만, 이에 2013년 10월 11일 처음 열린 정부 종합과학기술회의에서 에너지, 차세대 인프라·복구재생, 지역자원 등 중요 3대 분야에 대해 로드맵을 수립하는 전략협의회를 설치하는데 합의하고, 이 가운데 에너지전략협의회에 나노재료작업부회를 두기로 결정하면서 나노기술전략에 대한 전문가들의 검토는 지속적으로 이루어질 전망이다.

연구개발은 기초연구력 강화와 세계최고 수준의 연구거점 구축에 적극적인 전략을 펼치고 있다. 과학기술분야에서 현재 세계의 세력지도가 바뀌면서 일본은 향후 방향성을 결정하는데 어려운 국면에 처해있다. 이는 나노기술분야에서도 마찬가지이다. 예를 들면 나노일렉트로닉스 연구개발거점은 미국의

Albany Nano Tech(ANT), 벨기에 IMEC, 프랑스 MINATEC 등, 일부지역 거점에 집약되어 첨단 반도체연구개발이 과점적으로 집중하기 시작했으며, 아시아에서는 중국 쑤저우(소주)에 1994년부터 건설되어온 쑤저우공업원구(SIP)가 츠쿠바 연구도시에 비해 10배 규모로 성장하였다. 싱가포르에는 Fusionopolis를 거점으로 한 제1기 건설계획이 끝난 상태이다.

일본이 나노기술·재료분야를 중점분야로 선정하고 초기부터 ‘나노기술 종합지원프로젝트(2002-2006)’ 및 ‘나노기술 네트워크(2007-2011)’, ‘나노기술 플랫폼(2012~)’사업 등을 추진해왔지만 세계적 거점 형성으로는 발전하지 못하였고, 현재 일본 내에서도 그 활용도가 낮은 상황이다.

따라서 향후 세계적인 거점으로 성장하기 위해서는 2010년 4월에 출발한 츠쿠바이노베이션아리나(TIA)가 연구거점으로서 경쟁력을 어떻게 향상시켜 나가느냐가 관건이다.

또한 이는 인재양성과 관련되어 있는데 일본은 일찍이 기업들이 독자적으로 기술인력을 양성해왔지만 일본기업들의 경영환경이 악화되면서 대학교육의 중요성이 커지고 있는 상황이다. 이에 최근 TIA-nano가 츠쿠바대학을 중심으로 나노 교육프로그램 홍보에 적극 나서고 있는 것도 같은 맥락이라고 볼 수 있다.

나노기술플랫폼이나 TIA와 같은 공용시설의 이용률이 매우 낮는데 단순히 시설·장비 이용뿐만 아니라 인재양성 및 산·관·학 교류의 장으로 활용하는 방안이 활성화 되어야 하다.

또한, 대학 및 연구기관이 보유하고 있는 첨단 공용시설과 기업들이 지금까지 축적해온 기술·노하우를 살릴 수 있는 방안이 논의되고, 구체적인 시책들도 나오고 있기 때문에 나노기술 제휴 네트워크를 유지·발전시키려는 자주적인 노력은 일본의 혁신을 가속시키는 원동력이 될 것이다.



- [1] http://www.mext.go.jp/component/b_menu/other/__icsFiles/afieldfile/2013/02/05/1330426_03.pdf
- [2] http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/shiryo/__icsFiles/afieldfile/2013/07/17/1337231_1.pdf
- [3] http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu2/015-5/shiryo/1330385.htm
- [4] 전략적 창조연구추진사업, <http://www.jst.go.jp/kisoken/index.html>
- [5] <http://www.nanoscience.or.jp/>
- [6] <http://www.nanoscience.or.jp/pdf/H25Syllabus.pdf>
- [7] <http://www.tsukuba-honorspg.jp/>
- [8] <http://tia-nano.jp/core/infra/infra-3.html>
- [8] 나노재료리스트평가서, http://www.aist-riss.jp/main/modules/product/nano-rad.html?ml_lang=ja
- [9] Mesothelioma by MWCNT in p53+/- mouse, Atsuya Takagi et.al.
- [10] <http://www.jniosh.go.jp/joho/nano/files/takagi2008/takagi2008jp.pdf>
- [11] 경제산업성 나노물질 정보수집·발신프로그램 http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/other/nano_program.html

2014년 일본의 나노기술 정책 동향

인 쇄 2014년 3월

발 행 2014년 3월

발 행 인 박 영 서

발 행 처



주 소 서울시 동대문구 회기로 66

전 화 (02)3299-6114

I S B N 978-89-294-0338-6-93500

인 쇄 처 승림디앤씨 (02)2271-2581
