

21世紀COEプログラム 平成15年度採択拠点事業結果報告書

機関名	東北大学		学長名	井上 明久	拠点番号	HO2
1. 申請分野	F<医学系> G<数学、物理学、地球科学> <b>H&lt;機械、土木、建築、その他工学&gt;</b> I<社会科学> J<学際・複合・新領域>					
2. 拠点のプログラム名称 (英訳名)	ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア (The Exploration of the Frontiers of Mechanical Science Based on Nanotechnology) ※副題を添えている場合は、記入して下さい(和文のみ)					
研究分野及びキーワード	<研究分野: 機械>(環境強度)(信頼性設計)(ナノ・マイクロ加工)(ナノ材料設計・評価)(ナノマシン)					
3. 専攻等名	工学研究科(機械システムデザイン工学専攻(機械知能工学専攻、平成16年4月1日)、ナノメカニクス専攻(機械電子工学専攻、平成16年4月1日)、バイオロボティクス専攻(機械電子工学専攻、平成15年4月1日)、量子エネルギー工学専攻、エネルギー安全科学国際研究センター(破壊制御システム研究施設、平成16年4月1日)、環境科学研究所(環境科学専攻、平成15年4月1日)、金属材料研究所、流体科学研究所、多元物質科学研究所					
4. 事業推進担当者	計 25名					
氏名 (ふりがな<ローマ字>)	所属部局(専攻等)・職名	現在の専門 学位	役割分担 (事業実施期間中の拠点形成計画における分担事項)			
(拠点リーダー)						
SHOJI TETSUO 庄子 哲雄	工学研究科(機械システムデザイン工学専攻)・教授	破壊物理化学 工学博士	総括責任者、ナノメカノケミストリー			
KOYANAGI MITSUMASA 小柳 光正	工学研究科(バイオロボティクス専攻)・教授	ナノデバイス・ナノシステム 工学博士	総括分担者、ナノマシン・ナノシステム			
HANE KAZUHIRO 羽根 一博	工学研究科(ナノメカニクス専攻)・教授	ナノメカノプティクス 工学博士	総括分担者、ナノメカノケミストリー			
SAKA MASUMI 坂 真澄	工学研究科(ナノメカニクス専攻)・教授	ナノメカニクス 工学博士	総括分担者、ナノ材料強度・信頼性			
KURIYAGAWA TSUNEMOTO 厨川 常元	工学研究科(ナノメカニクス専攻)・教授	ナノ機械加工学 工学博士	総括分担者、ナノ材料・ナノ加工			
YUGAMI HIROO 湯上 浩雄	工学研究科(機械システムデザイン工学)・教授	ナノエネルギーシステム 工学博士	ナノマシン・ナノシステム			
SOYAMA HITOSHI 祖山 均	工学研究科(ナノメカニクス専攻)・教授	ナノメカニクス 工学博士	ナノ材料強度・信頼性			
MIURA HIDEO 三浦 英生	工学研究科(エネルギー安全科学国際研究センター)・教授	ナノデバイス信頼性 博士(工学)	ナノマシン・ナノシステム			
KUBO MOMOJI 久保 百司	工学研究科(エネルギー安全科学国際研究センター)・教授	理論化学・計算化学 博士(工学)	ナノメカノケミストリー			
SAMUKAWA SEIJI 寒川 誠二	(平成20年1月1日所属専攻変更) 流体科学研究所(附属流体融合研究センター)・教授	知的ナノプロセス 工学博士	ナノマシン・ナノシステム			
HOKIRIGAWA KAZUO 堀切川 一男	工学研究科(機械システムデザイン工学)・教授	ナノ材料設計学 工学博士	ナノ材料・ナノ加工			
YOKOBORI TOSHIMITSU 横堀 寿光	工学研究科(ナノメカニクス専攻)・教授	信頼性設計学 工学博士	ナノ材料強度・信頼性			
KONO SYOUZOU 河野 省三	多元物質科学研究所 (多元制御研究部門)・教授	表面機能制御工学 理学博士	ナノメカノケミストリー			
HASHIZUME HIDETOSHI 橋爪 秀利	工学研究科(量子エネルギー工学専攻)・教授	量子電磁工学 工学博士	ナノ材料・ナノ加工			
HASEGAWA AKIRA 長谷川 晃	工学研究科(量子エネルギー工学専攻)・教授	量子材料工学 工学博士	ナノ材料強度・信頼性			
SATA NORIKO 佐多 教子	工学研究科(機械システムデザイン工学)・准教授	エネルギーシステム学 博士(理学)	ナノ材料・ナノ加工			
TUREKAWA SADATOSHI 連川 貞弘 (平成19年3月31日辞退)	工学研究科(ナノメカニクス専攻)・助教授	材料界面設計学 工学博士	ナノ材料・ナノ加工			
OGAWA KAZUHIRO 小川 和洋	工学研究科(エネルギー安全科学国際センター)・准教授	材料評価学 博士(工学)	ナノメカノケミストリー			
KAMIYA SHOJI 神谷 庄司 (平成16年3月31日辞退)	工学研究科(機械知能工学専攻)・助教授	薄膜計測評価 工学博士	ナノ材料強度・信頼性			
KAWADA TATSUYA 川田 達也	環境科学研究所(環境科学専攻)・教授 (平成18年5月1日所属部局変更)	固体電気化学 工学博士	ナノメカノケミストリー			
JU YANG 巨 陽 (平成16年4月1日追加) (平成19年3月31日辞退)	工学研究科(ナノメカニクス専攻)・助教授	非破壊評価学 博士(工学)	ナノ材料強度・信頼性			
YAN JIWANG 閻 紀旺 (平成17年7月13日追加)	工学研究科(ナノメカニクス専攻)・准教授	ナノ機械加工学 博士(工学)	ナノ材料・ナノ加工			
HASEGAWA MASAYUKI 長谷川 雅幸 (平成18年1月12日追加) (平成19年3月31日辞退)	金属材料研究所(材料照射工学研究部門)・教授	ナノ機械加工学 工学博士	ナノ材料・ナノ加工			
NAGAI YASUYOSI 永井 康介 (平成18年1月12日追加)	金属材料研究所(材料照射工学研究部門)・准教授	ナノ機械加工学 博士(理学)	ナノ材料・ナノ加工			
TOHMYOH HIRONORI 燈明 泰成 (平成19年4月1日追加)	工学研究科(ナノメカニクス専攻)・准教授	ナノ材料強度 博士(工学)	ナノ材料強度・信頼性			
5. 交付経費(単位:千円)千円未満は切り捨てる ( ) : 間接経費						
年度(平成)	15	16	17	18	19	合計
交付金額(千円)	92,000	148,500	151,400	142,000 (14,200)	138,000 (13,800)	671,900

## 6. 拠点形成の目的

これまでの機械工学の概念を進化させ、原子やナノスケールのレベルから機械工学を考える新しい「機械科学」と、その応用を目指した「機械システム工学」とを合わせた新しい学問分野である「ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア」が本拠点における学問分野の中心である。

具体的には、従来の機械工学における4力学(材料力学、熱力学、流体力学および機械力学)に加え、その学術内容のナノレベルでの本質的解明と巨視現象の科学的評価並びにナノレベルでの機械的挙動の解明に欠かせない物理化学、量子力学と計算科学を「ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア」における学問の基盤とする。これらの学問を基本として、本拠点では原子レベル、ナノレベルでの機械的挙動の解明のため、ナノメカノケミストリー、ナノ材料・ナノ加工に関わる諸現象の科学的解明、マイクロマシン、ナノマシン・ナノシステムの設計と構築および原子レベル、ナノレベルでのナノ材料強度・信頼性評価やエネルギー変換システムの安全性評価等の研究に取り組む。また、従来扱われる規模の大きさや複雑性から、分子動力学(Molecular Dynamics)や分子軌道法、(Molecular Orbital Method)、モンテカルロ解析(Monte Carlo Analysis)などの計算科学を現実系、実在系の機械工学分野へ応用することは困難であった。しかし、破壊・反応・摩擦などの超大規模複雑系において解明可能な新規計算科学プログラムを世界に先駆けて開発することで、これまでにない計算科学手法の開発に基づいた機械工学分野における新しいフロンティア、すなわち機械科学を構築する。

ナノ領域からメガ領域にわたる機械科学全体を理解できる人材の育成が、新たな融合分野としての「機械科学」に不可欠であり、本拠点形成の目的もそのような未来へ向けて選択肢を多様化し、未来産業創生のフロンティアとして国際的に活躍できる人材を養成することにある。

ナノテクノロジーの急速な進歩とともに、機械工学の分野でも原子やナノスケールのレベルから機械工学を捉えようという要求が強くなっている。本拠点はこのような要求を先取りして、従来の機械工学に物理化学、量子力学と計算科学の手法を取り入れて世界を先導する新しい「ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア」の学術基盤を構築するとともに、その最先端の研究成果を教育に反映させ国際舞台で活躍できる人材を養成しようとしているところに特色がある。

本拠点を形成するための核となる教員は、ナノメカノケミストリー、ナノ材料・ナノ加工、ナノマシン・ナノシステム、ナノ材料強度・信頼性の分野で既に世界の最高水準の研究成果を上げており、これらの教員を中心にして先導的「ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア」研究教育拠点を築く。この拠点は、機械工学(Mechanical Engineering)における巨視的あるいは連続体としての取り扱いにナノスケールでの科学的合理を賦与した機械科学(Mechanical Science)の新領域を確立し、さらに幅広く展開させるための世界拠点とする。換言すれば、現象論ではなく、ナノ領域における本質的な原理の追求を踏まえた、機械、電気、材料、化学の各分野を融合した先導的研究教育拠点を形成する。本拠点を「ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア」の世界拠点とするための戦略として、米国、ヨーロッパ、アジアの拠点となる大学に国際研究教育サテライト拠点を置く。国際研究教育サテライト拠点には「ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア」の重点分野の共同研究と専門教育を行うための国際共同研究室を設置する。この国際共同研究室に、博士後期課程学生を国際研究インターンシップとして一定期間(3ヶ月~1年間)滞らせて、国際的な研究教育を行う。また、この国際研究教育サテライト拠点を通して海外の優秀な学生や教員を本拠点に還流させる。このような国際研究教育サテライト拠点をこれまでに築いてきた国際交流実績を基にして形成し、本拠点と合わせて国際拠点とする。

従来の機械工学分野において基盤となってきた学理の適応限界の抽出と、それを超えた「新しい機械科学の学理」に立脚した「科学的合理性に基づく次世代機械の機能ならびに構造設計」を可能とするための学術融合型研究拠点形成が特色である。



図1 学術基盤「機械科学」の創成

7. 研究実施計画

7. 1 研究教育拠点形成実施計画

本学工学研究科機械知能工学専攻を核として、工学研究科の2専攻、1研究施設、2研究所が参加し、ベンチャービジネスラボラトリーの支援の下で研究教育拠点を形成し、ナノテクノロジーを基盤とする新しい機械科学の創生をめざす。総括責任者、総括分担者（4名）、研究コーディネーター、教育コーディネーター、外部有識者（若干名）で運営委員会を構成し、拠点運営に関わる重要事項をすべて討議、決定する。

従来の4力学重点の機械工学を基盤とし、これにナノテクノロジー、計算科学を融合することによって、ナノレベルでの機械的挙動の科学的解明を可能とする機械科学領域の新しい学術基盤を構築する。ナノメカノケミストリー、ナノ材料・ナノ加工、ナノ材料強度・信頼性、ナノマシン・ナノシステムの4つの研究グループを組織し、拠点及び研究リーダーを中心にトップダウン的に研究を行い、機械科学に関する国際的な研究教育拠点を形成するが、萌芽的視点を十分に考慮して実施する。また、機械科学のより高度な材料創製等が行えるように実験設備整備費により既存設備を支援・強化する。

7. 2 年度別の研究教育拠点形成実施計画

＜平成15年度＞本年度はナノテクノロジーを基盤とする新しい機械科学の創生に不可欠な実施体制の構築、ダブルスパイラル研究教育プログラム運営の仕組みの構築を目的とする。特に拠点リーダーとサブリーダー、研究・教育コーディネーター等からなる運営委員会を早期に確立し、事業推進者間の交流、共同研究テーマの設定方法を審議するとともに、教育プログラムの具体的な推進体制を構築する。また、国際共同研究・教育を推進するサテライト拠点の選定と交渉も推進する。

＜平成16年度＞前年度に立ち上げた海外研究教育サテライト拠点を核として本格的にダブルスパイラル研究教育システムを推進するため、研究教育共同推進合意契約を欧米、アジアの大学と締結するとともに、各大学において教員レベルの最先端技術フォーラム、あるいは博士課程学生を中心とした交流セミナーを開催し、国際交流と情報発信を積極的に進め、世界拠点の構築を推進する。また、エネルギー関連の融合研究分野において、世界の研究機関あるいは企業との産学連携国際共同研究プログラムも開始する。さらに研究教育コーディネーターと運営委員会との連携を強

化し、本COEプログラム内における融合研究テーマを具体化し、共同研究を開始する。

＜平成17年度＞ナノテクノロジー基盤機械科学研究拠点を本格稼働させるのが最重要課題である。特に金属材料研究所の副所長でもある長谷川雅幸教授のグループを事業推進者に加え、拠点内グループと国際研究・教育サテライト拠点間の学際融合共同研究のネットワークを充実させる。また、ダブルスパイラル教育システムを強化し、国際インターンシップによる人材交流と共同研究による研究成果創出の加速を図る。

＜平成18年度＞本拠点における融合研究の統一テーマである、「機械科学を基盤としたインターフェースの創生と制御（Interface Integrity based on Mechanical Science）」を意識した学際融合研究の推進と、ダブルスパイラル教育システムの更なる活性化を目的とした、国内外インターンシップ強化による人材交流と共同研究による研究成果創出を加速する。原子レベル、ナノレベルでのナノ材料強度・信頼性評価やエネルギー変換システムの安全性評価研究の確立を通し、超環境耐久性材料および高信頼ナノマシン・ナノシステム等の開発、ナノ計測技術及びナノ材料強度・信頼性評価技術を実現する。

＜平成19年度＞本年度は事業最終年度であり、本学の国際高等研究教育機構構想にも対応した国際研究教育組織としてナノ機械未来科学研究センターへと発展させる基盤を構築することを本年度の最重要課題とする。特に、原子レベルでの材料破壊クライテリア解明研究を高信頼・高強度材料システム設計開発研究に発展させ、環境耐久性の本質的機構としてのナノメカノケミストリーに基づく超環境耐久性材料開発技術、大型エネルギー機器構造信頼性設計、損傷評価技術を世界に対するコアコンピタンス技術として確立することを旨とする。

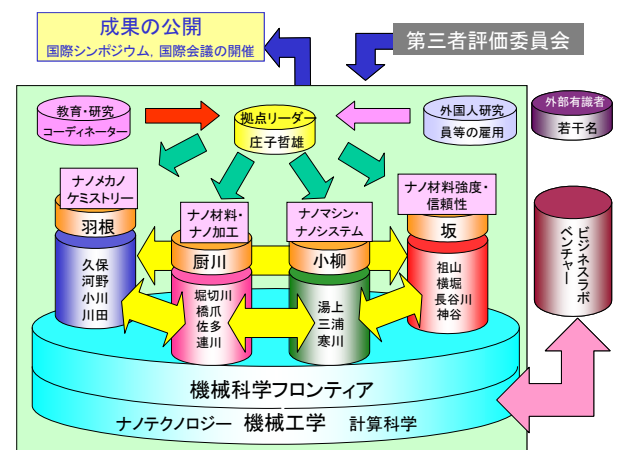


図2 研究教育拠点組織図

## 8. 教育実施計画

本プログラムでは、幾つかの専門領域にまたがる学際的研究教育をスパイラル状に実施しながら専門能力を高めていく専門研究教育プログラムと、それぞれの特徴を有する海外の国際研究教育サテライト拠点を巡回しながら国際的な視点での専門能力をスパイラル状に高めていく国際研究教育プログラムを有機的に組み合わせた「ダブルスパイラル研究教育プログラム」を新たに導入する。拠点形成において特に留意したい点は、ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティアに関する学理の追求と、一方では社会的に顕在化した、あるいは潜在的問題解決を実践し学術研究が人類のためのものであることを両立させることである。特に博士後期課程の学生には、研究者としての資質と同時に、学術研究が人類のためであることを強く認識させることが重要であり、例えば「学提案型プロジェクト」の推進はそのことを念頭に置いて計画されている。すなわち、学生は研究プロジェクトに参画し、研究の社会的意義と成果を得るための研究実践の手法を学ぶ。ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティアの教育拠点は、ナノ材料・ナノ加工、ナノマシン・ナノシステム、ナノ計測とナノレベルでの現象解明に裏付けられた大型機器構造物の長期的信頼性の確保等にまたがる広い領域をカバーするものであり、従来の機械工学の概念を打ち破る新たな学術基盤を構築するとともに新産業創出の発信拠点並びにそれを中核的に担う人材養成拠点の役割を果たす。具体的には、

第1スパイラル： ナノメカノケミストリー、ナノ材料・ナノ加工、ナノ材料強度・信頼性、ナノマシン・ナノシステムの4つの専門領域と学際的領域の研究教育をスパイラル状に実施し、機械科学における幅広い知識と実験・観察能力およびそれを展開する能力を身につけさせる。

第2スパイラル： 基礎力、展開力、構想力そして国際性を涵養するため、海外研究インターンシップ並びに研究マイスター制を導入し、米国、欧州、アジアに研究教育スペースを有する国際研究教育サテライト拠点を設置する。これらのサテライト拠点はそれぞれ特に優れた分野を有する大学に設置し、優秀な博士後期課程学生を3ヶ月～1年程度の期間、順次それぞれのサテライト拠点に滞在させ、その分野の最先端の研究を体感させることによって、日常性の中で国際性を身につけさせ、視野の広い研究者ならびに高度専門技術者を養成する。

基礎知識の充実： 上記2つのスパイラルの基礎と

してナノレベルでの現象解明に必要な分子動力学、モンテカルロシミュレーションそして分子軌道計算に関する基礎知識を習得させる。

論文アドバイザーの委託： 海外の国際研究教育サテライト拠点に所属する研究者等の中から論文アドバイザーを委託し、学位論文の審査を依頼する。

国際セミナーの開催： 拠点の研究教育成果の普及と優秀な海外留学生の確保のために、国内各地及び世界各国において国際セミナーを開催し、博士後期課程学生の研究留学のネットワークを構築することによって人的交流の機能的システムを実現する。

若手研究者研究費： 多様性を容認する教育研究プログラムにより、未知に挑戦する気概をもった独創的人材の養成を図るとともに、特に独創的な研究成果が期待される若手研究者(博士後期課程学生、ポスドク)に研究費の支給を行い研究活動を支援するとともに、研究・勉学意欲を高揚させる仕組みを制度化する。

国際性溢れる人材： 次世代技術あるいは潜在的問題解決のための国際共同研究プロジェクトに積極的に参加させ、国際協力や国際的議論の場に触れさせる。

優秀な研究人材の供給： 本教育計画により、日本人学生に限らず、外国人学生にとっても魅力あるプログラムを提供することができることになり、ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア分野の優れた研究人材を定常的に数多く輩出することができるものと期待される。

本拠点形成を効果的に推進するためには多様な情報のインテグレーションが不可欠であり、異分野の研究の融合と教育の国際化が重要となるので、それぞれを担当する研究コーディネーターと教育コーディネーターを外部より各1名雇用する。両コーディネーターは関連経費の効果的配分を行う。

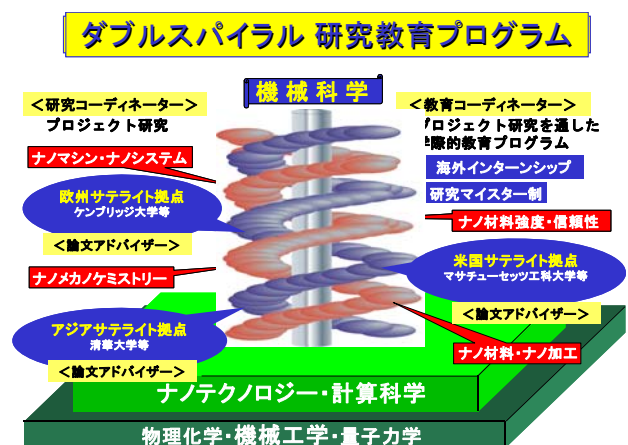


図3 ダブルスパイラル教育システム

## 9. 研究教育拠点形成活動実績

### ①目的の達成状況

#### 1) 世界最高水準の研究教育拠点形成計画全体の目的達成度

本プログラムの拠点形成の目的は、従来の機械工学に物理化学、量子力学と計算科学の手法を取り入れて世界を先導する新しい「ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア」の学術基盤を構築するとともに、その最先端の研究成果を教育に反映させ国際舞台で活躍できる人材を養成しようとするものである。特に、科学的合理性に基づく次世代機械の機能ならびに構造設計の必要性に鑑み、機械工学における巨視的あるいは連続体としての取り扱いにナノスケールでの科学的合理性を賦与した機械科学という新学問領域を確立し、現象論ではなく、ナノ領域における本質的な原理の追求を踏まえ、機械、電気、材料、化学の各分野を融合した先導的研究教育拠点の形成を図ることを目的とした。

本COEで掲げている「ナノテクノロジー基盤機械科学」は、マイクロデバイスから大型機器構造物を含む機械システムの破壊メカニズムや強度発現機構のナノレベルでの解明を通して未来機械産業の基盤を構築するとともに、社会基盤を構成する機器や構造物に対する安全と安心の構築や信頼性向上へ貢献することを目的とした。この新たな学問体系の構築の主旨は、ナノ領域における本質的な物理化学事象を単に機械工学的な視点で捉えるのではなく、原子の結合状態の変化とそれを引き起こす電磁気的あるいは化学的相互作用の視点を加えて量子力学的に整理することで、従来からその対応に苦慮してきた個体ばらつきあるいは時空間分布の発現メカニズムを解明し、その制御方法を確立することにある。これにより「ものづくり」を科学的な合理性を持って実現でき、結果として分布広がりを極小化することが可能になる。また、従来大型構造物の設計において当然のように使用されてきた安全率を安心して1.0に向け極小化することで社会的な安全と安心を経済的な負担を軽減しながら実現することが可能となる。

特に、原子レベルでの材料破壊クライテリア解明研究を高信頼・高強度材料システム設計開発研究に発展させ、環境耐久性の本質的機構としてのナノメカノケミストリーに基づく超環境耐久性材料開発技術、大型エネルギー機器構造信頼性設計、損傷評価技術を世界に対するコアコンピタンス技術として確立した。

本拠点の統一テーマとして掲げた「機械科学に基づ

く機能的インターフェースの創成と制御:Interface Integrity)」に基づき、重点融合研究テーマとして決定した、【1】原子力(軽水炉)用材料の応力腐食割れ対策システムの開発と【2】原子力(軽水炉)用放射線被曝低減および耐摩耗システムの開発の研究を強力に推進した。この研究を推進するに当たり、本拠点で中核技術として推進している4研究分野「ナノメカノケミストリー」、「ナノ加工・ナノ材料」、「ナノマシン・ナノシステム」、「ナノ材料強度・信頼性」間を有機的に繋ぐ融合研究テーマとして、1) 原子力プラント材料の信頼性支配因子の解明、2) 非破壊検査とセンシング技術、3) 材料表面処理と損傷修復を目的とした加工プロセスの開発、を設定した。さらに、4) 原子力とコンバインドサイクルを実現可能な次世代燃料電池システムの信頼性についてもミニプロジェクトを推進した。特に拠点内グループと国際研究・教育サテライト拠点間の学際融合共同研究のネットワークを充実させた。代表研究成果は、事業推進者間の有機的連携の項で別途説明する。

事業成果の産業界への普及促進も意識し、文部科学省「先端研究施設共用イノベーション創出事業」【産業戦略利用】に応募した「社会の安全・安心のための先端的経年損傷計測・評価と破壊制御」が採択され産業界との連携強化を加速している。また、(株)インテリジェントコスモス研究機構が経済産業省原子力安全・保安院から受託した平成18年度「高経年化対策強化基盤整備事業」を東北大学が再受託し、継続して共同研究を推進している。

さらに、国際共同研究教育協定を締結した、MIT, Cambridge大(英国)、清華大、釜山大等を中核拠点とし、国際会議、国際交流セミナー、学生交流セミナーを継続的に実施して共同研究体制を強化するとともに、教員、学生の相互交流に基づく、持続できる国際共同研究教育システムの構築も推進した。

以上、5年間の研究教育業績の総括として外部評価委員会を開催(2008.3.8)し、国際的な産官学の視点から、Prof. Ron Ballinger (MIT), Prof. Joon Hyun Lee (Pusan National University, Director of BK21), Prof. Daining Fang (Tsinghua University), 伊東 誼 東京工業大学名誉教授、牧本次生 ソニー名誉顧問にご評価頂いた。

以下の主要評価項目を5点満点で評価頂いた結果、5名の評価委員の平均点は、組織の運営状態(Team Working):4.0,研究成果:4.8,教育体制と成果:4.8,最終総合評価:4.5であった。研究と教育に関しては当初目的は十分達成されたという評価を頂いた。しかし、組織の

運営に関しては、21名の事業推進者のより強い融合、共同研究体制の構築と研究成果の事業化へ向けた具体的な施策の実現、あるいは情報発信方法として産業界とのより積極的な交流議論の場の設定に対する工夫が必要とのご指摘を頂いた。また、学生教育プログラムとして長期(2年程度)海外派遣や産業界からの学位審査者の招聘、英語教材(教科書)の出版等、今後中長期的に取り組むべき道筋と将来展望を含めたより高いレベルへの努力の必要性をご指摘頂いた。

## 2) 人材育成面での成果と拠点形成への寄与

海外研究教育サテライト拠点の構築を目的とし、世界の主要12大学(Massachusetts Institute of Technology, University of Washington, University of Cambridge, Tsinghua University, Jinlin University, Xiamen University, National Taiwan University, Pusan National University, Teheran Institute of Technology, Bangladesh University of Engineering and Technology, Ecoles de Lyon, Helsinki Institute of Technology) と国際研究教育協力協定を締結し、共同研究、RAの派遣、国際ワークショップの開催等を実施し、世界的な視野の博士研究者の育成を推進した。RA、フェロー(博士研究員)の海外大学への派遣(共同研究、3ヶ月以上)は延べ23名、逆に海外からの受入は延べ18名である。これら学生の内、学位審査に派遣先大学から審査委員として来日して頂いた教授は8名であり、逆に本事業推進者2名が海外大学の学位審査委員に就任している。

海外大学で開催した国際シンポジウムは11回

(MIT, 清華大学, 釜山大学は各2回, ケンブリッジ大学, ギーセン・ユストゥス・リービヒ大学物理化学研究所, 吉林大学, アモイ大学, 台湾国立大学は各1回)におよび、本学からは延べ112名の学生, 若手研究者を派遣し、現地で教員あるいは学生との交流を深めた(現地での本学以外の参加者は延べ142名である)。

## 3) 研究活動面での新たな分野の創成や、学術的知見等

本COEで掲げている「ナノテクノロジー基盤機械科学」は、マイクロデバイスから大型機器構造物を含む機械システムの破壊メカニズムや強度発現機構のナノレベルでの解明を通して未来機械産業の基盤を構築するとともに、社会の安全と信頼性向上へ貢献することを目的としたものである。マイクロデバイスから大型機器構造物を含む機械システムの破壊メカニズムや強度発現機構をナノレベルで解明することを通して、未来機械産業の基盤を構築するとともに、社会の安全と信頼性向上へ貢献することを目指した。原子レベル, ナノレベルでの機械的挙動を電磁気現象や化

学反応との連成問題と位置づけ、量子力学的視点で解明するとともに、ナノメカノケミストリー, ナノ材料・ナノ加工に関わる諸現象の科学的解明, マイクロマシン, ナノマシン, ナノシステムの設計と構築及び原子レベル, ナノレベルでのナノ材料強度・信頼性評価やエネルギー変換システムの安全性評価研究の確立を通し、超環境耐久性材料および高信頼ナノマシン・ナノシステム等の開発, ナノ計測技術及びナノ材料強度・信頼性評価技術を実現した。この新たな学問体系の構築の主旨は、ナノ領域における本質的な物理化学事象を単に機械工学的な視点で捉えるのではなく、原子の結合状態の変化とそれを引き起こす電磁気的あるいは化学的相互作用の視点を加えて量子力学的に整理することで、従来からその対応に苦慮してきた個体ばらつきあるいは時空間分布の発現メカニズムを解明し、その制御方法を確立することにある。これにより「ものづくり」を科学的な合理性を持って実現でき、結果として分布広がりやを極小化することが可能になる。また、従来大型構造物の設計において当然のように使用されてきた安全率を安心して1.0に向け極小化することで社会的な安全と安心を経済的な負担を軽減しながら実現することが可能となる。具体的には、統一テーマとして「機械科学に基づく機能的インターフェースの創成と制御:Interface Integrity」を掲げ、材料設計, 構造設計あるいは製造プロセスの設計に適用できるナノの世界の現象の本質を把握した学問体系を構築することと設計手法を提案した。

## 4) 事業推進担当者相互の有機的連携

統一テーマとして「機械科学に基づく機能的インターフェースの創成と制御:Interface Integrity」を掲げ、「ナノメカノケミストリー」, 「ナノ材料・ナノ加工」, 「ナノ材料強度・信頼性」, 「ナノマシン・ナノシステム」の4つの研究グループの有機的な学術的融合と国際共同教育・研究の推進を強化した。

動的ハイブリッド法を用いた量子分子動力学解析手法を活用することで、破壊のクライテリアとして酸化反応と微小クラック進展の相互作用解明研究を推進し、エネルギー機器材料のナノスケールでの破壊クライテリアも解明した。特に、水分子の乖離により形成された酸素原子による酸化のみならず水素も酸化剤として作用していることを世界で初めて見出し、応力腐食割れは酸素並びに水素による連続的固相酸化現象が応力により加速・局在化された現象であるとの結論を得るに至った。また、原子炉の高経年化対策にとって不可欠な放射線照射環境における材料劣化(脆化)原因を、レーザー補助局所

電極型3次元アトムプローブを用いて分析し、結晶粒界偏析元素が照射量に依存して変化することを世界で初めて解明した。さらに、粗大すべりによる不均一変形の発生の照射量依存性と、結晶粒界近傍でのひずみ蓄積の塑性変形依存性を解明し、イオン照射によっても原子炉内での中性子照射による経年変化、すなわち脆化挙動を模擬できることを実証した。以上により超環境耐久性材料開発に向けた材料設計指針を構築した。

さらに、材料中に発生した応力腐食割れあるいは応力腐食割れに直結する材料損傷を、近紫外レーザー光を応用して可視化する非破壊検査システムを開発し、定量的な寿命予測を可能とする評価技術を構築した。また、コールドスプレー法で当該損傷部位をまず除去し、その後薄膜を堆積あるいは埋め込むことで材料機能を回復させる加工手法も開発した。

#### 5) 国際競争力ある大学づくりへの貢献度

全学のグローバル活動の一環である国際高等研究院に教員4名を兼務者として派遣するとともに、博士研究員1名を専属研究者として常駐させている。また大学院学生も約20名在籍させている。

国際共同研究教育協定を締結した大学との共同研究推進のため大学院学生の相互派遣(東北大学からの派遣:延べ22名, 東北大学への受入:延べ18名), 博士研究員の受入, 等を継続している。また, 定期的なミニ国際シンポジウムを開催する場合に東北大学の留学生受入制度の紹介や事前面接なども実施している。

世界を先導するナノスケールでの「機械科学」学術基盤の構築と研究成果の国際的な情報発信の成果として, 環境助長割れの原子レベルでの機構解明を目的にカリフォルニア工科大学A. Zewail教授(1999年ノーベル化学賞受賞)と共同研究を開始した。

また, 「エネルギー安全科学国際連携融合研究」(米国MIT, 米国原子力規制委員会, インドバーバ原子力研究所及びインド工科大学, フィンランドヘルシンキ工科大学, 米国カリフォルニア工科大学)や「環境助長割れ長期信頼性研究」(日本主要企業8社, 米国電力中央研究所, フランス電力公社, スウェーデン原子力監視庁)など世界規模での産官学共同研究が急増した。

#### 6) 国内外に向けた情報発信

本拠点形成の研究成果として, 学術論文1526報, 特許出願77件, 著書81冊, 解説記事116報等が情報発信されている。また, 国際会議(International Conference on Mechanical Science based on Nanotechnology)を5回主催し, 延べ249件(内海外88件)の研究発表を実施した。さらに, 海外の国際研究・教育サテライト拠点

において合計11回のミニ国際シンポジウムを主催し大学院の学生を中心に254件(内東北大学112件)の研究発表を行った。また, 大学院学生を海外の国際会議に延べ288名派遣した。

以上の情報発信に対し, 国内外の学会等から教員が延べ70件, 学生が延べ52件の学会賞等を受賞している。代表的な受賞には, IEEE Jun-ichi Nishizawa Medal, ASME Outstanding Paper Award, ロシア科学アカデミー賞, 文部科学大臣表彰, 市村学術賞貢献賞, 日本機械学会賞などがある。さらに, 学生の国際学会等での活躍機会が増加したことで, 研究成果の認知度が高まり, 学会賞の受賞件数も事業後半で急増している。事業推進者研究室に所属する学生の受賞件数は, 事業開始前は約5件/年であったものが, 最終年度には25件に達した。代表的な学生の受賞には, IEEE Bast Student Paper Award, Mohri Poster Session Notable Poster Award of International Symposium for Synthesis on Physical Sciences in Space 2007, ASME Outstanding Conference Paper Award, 経済産業大臣賞, エレクトロニクス実装学会, トライボロジー学会奨励賞, などがある。

#### 7) 拠点形成費等補助金の使途について(拠点形成のため効果的に使用されたか)

交付された補助金総額の約40%は博士研究員(招聘教員を含む), Research Assistant(博士課程学生)の雇用(一部受入)人件費, 約30%は学生, 若手研究者の海外研究教育サテライト拠点への派遣・受入(共同研究, 国際シンポジウム)旅費, 国際学会発表渡航費, 約10%は国際会議開催費用, 約10%は共同研究推進強化用の共通研究機器整備等に使用と, 補助金全体の約90%は本事業の主旨である国際社会で活躍する人材育成・教育に活用できたものと考えている。(残り約10%は事業推進消耗品等)。

#### ②今後の展望

総長のリーダーシップのもと設置された国際高等研究教育院, あるいは特定領域研究推進支援センター, 産学連携推進本部などとの連携を強化した新たな研究教育基盤の設置など, 学際, 国際融合研究を確実に発展させていく。

#### ③その他(世界的な研究教育拠点の形成が学内外に与えた影響度)

韓国版21COE制度であるBK21(Brain Korea 21)において機械工学分野で採択されている釜山大学から, 本学がベンチマーク大学に指定され, 定期的な研究教育交流(学生の相互インターンシップ, 研究交流ワークショップ, 集中講義講師派遣等)を継続している。

## 21世紀COEプログラム 平成15年度採択拠点事業結果報告書

機 関 名	東北大学	拠点番号	H02
拠点のプログラム名称	ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティア		
<p>1. 研究活動実績</p> <p>①この拠点形成計画に関連した主な発表論文名・著書名【公表】</p> <p>・事業推進担当者（拠点リーダーを含む）が事業実施期間中に既に発表したこの拠点形成計画に関連した主な論文等〔著書、公刊論文、学術雑誌、その他当該プログラムにおいて公刊したもの〕</p> <p>・本拠点形成計画の成果で、ディスカッション・ペーパー、Web等の形式で公開されているものなど速報性のあるもの</p> <p>※著者名（全員）、論文名、著書名、学会誌名、巻(号)、最初と最後の頁、発表年（西暦）の順に記入</p> <p>波下線（<u>      </u>）：拠点からコピーが提出されている論文</p> <p>下線（<u>      </u>）：拠点を形成する専攻等に所属し、拠点の研究活動に参加している博士課程後期学生</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Y. Sato, T. Atsumi, and T. Shoji, "Continuous monitoring of back wall stress corrosion cracking growth in sensitized type 304 stainless steel weldment by means of potential drop techniques," INTERNATIONAL JOURNAL OF PRESSURE VESSELS AND PIPING, Vol.84(5), pp.274-283, (2007).</li> <li>2) Y. Takeda, T. Shoji, M. Bojinov, P. Kinnunen, and T. Saario, "In situ and ex situ characterization of oxide film formed on strained stainless steel surface in high-temperature water," Applied Surface Science, Vol. 252, pp. 8580-8588, (2006).</li> <li>3) <u>L. Zhanpeng, T. Shoji, Y. Takeda, Y. Ito, A. Kai, and S. Yamazaki, "Transient and steady state crack growth kinetics for stress corrosion cracking of a cold worked 316L stainless steel in oxygenated pure water at different temperatures," Corrosion Science, Vol. 50(2), pp.561-575, (2008).</u></li> <li>4) K. Suzuki, Y. Takeda, Z. Lu and T. Shoji, "Computational Chemistry Study of Accelerated Oxidation Mechanism of IGSCC of Structural Materials in LWR Environments and Theoretical Design of SCC Resistant Alloys", Proceedings of International Congress on Advances in Nuclear Power Plants, CD-ROM Paper No. 4227, (2004).</li> <li>5) <u>Z. Zhu, A. Chutia, H. Tsuboi, M. Koyama, A. Endou, H. Takaba, M. Kubo, C. A. Del Carpio, P. Selvam, and A. Miyamoto, "Theoretical Simulation of Dielectric Breakdown by Molecular Dynamics and Tight-Binding Quantum Chemistry Methods," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, pp. 1853-1858, (2007).</u></li> <li>6) <u>H. Onuma, H. Tsuboi, M. Koyama, A. Endou, H. Takaba, M. Kubo, C. A. Del Carpio, P. Selvam, and A. Miyamoto, "Large-Scale Electronic Structure Calculation of Blue Phosphor BaMgAl<sub>10</sub>O<sub>17</sub>:Eu<sup>2+</sup> Using Tight-Binding Quantum Chemistry Method Implemented for Rare Earth Elements," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 46, pp. 2534-2541, (2007).</u></li> <li>7) T. Satoh, K. Yuki, <u>S. Chiba</u>, H. Hashizume, and A. Sagara, "Heat Transfer performance for high Prandtl and high temperature molten salt Flow in sphere-packed pipes," Fusion Science and Technology, Vol. 52 (3), pp. 618-624, (2007).</li> <li>8) <u>M. Satake</u>, Kazuhisa Y., and H. Hashizume, "Reproduction of behavior of 2-D channel flow with two rods by using k-e model," Fusion Science and Technology, Vol. 52 (4), pp. 817-820, (2007).</li> <li>9) <u>A. Unemoto</u>, A. Kaimai, K. Sato, T. Otake, K. Yashiro, J. Mizusaki, T. Kawada, T. Tsuneki, Y. Shirasaki, and I. Yasuda, "Surface reaction of hydrogen on a palladium alloy membrane under co-existence of H<sub>2</sub>O, CO, CO<sub>2</sub> or CH<sub>4</sub>," International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 32(16), pp. 4023-4029, (2007).</li> <li>10) J. R. Wilson, <u>M. Sase</u>, T. Kawada, and S. B. Adler, "Measurement of oxygen exchange kinetics on thin-film La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>CoO<sub>3</sub>-delta using nonlinear electrochemical impedance spectroscopy", Electrochemical and Solid State Letters, Vol. 10(5), pp. B81-B86, (2007).</li> <li>11) F. D'Amico, R. Gunnella, <u>M. Shimomura</u>, T. Abukawa and S. Kono, "Dependence on the deposition conditions in the adsorption of C<sub>6</sub>H<sub>8</sub> molecules on a Si(100)-2x1 surface" "Dependence on the deposition conditions in the adsorption of C<sub>6</sub>H<sub>8</sub> molecules on a Si(100)-2x1 surface," Phys. Rev. Vol. B76, pp. 165315(-1~8), (2007).</li> <li>12) S. Kono, K. Mizuochi, G. Takyo, T. Goto, T. Abukawa and T. Aoyama, "Energy Band Diagram of a H-Terminated P-Doped n-Type Diamond (111) Surface," New Diamond &amp; Frontier Carbon Technology, Vol.17, No5, pp.231-242, (2007).</li> <li>13) D. Hondo, T. Tsurui, <u>N. Kuwata</u>, N. Sata, F. Iguchi and H. Yugami, "Study of proton-conducting oxides by artificial modulation of dopant distribution," Solid State Ionics Vol. 178, PP. 685-690, (2007).</li> <li>14) N. SATA, K. IKEDA, F. IGUCHI, and H. YUGAMI, "Synthesis of La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>FeO<sub>3</sub>/La<sub>0.6</sub>Sr<sub>0.4</sub>CoO<sub>3</sub> mixed ion conducting superlattices by PLD," Solid State Ionics Vol. 178, pp.1563-1567, (2007).</li> <li>15) H. Matsuura, K. Hane, <u>Y. Kunieda</u>, N. Yoshihara, J. Yan, and T. Kuriyagawa, "Development of Laser Dresser for Resin Bonded Diamond Wheel" Key Engineering Materials, Vol. 329, pp. 169-174, (2007).</li> <li>16) N. Yoshihara, <u>M. Ma</u>, J. Yan and T. Kuriyagawa, "Electrolytic conditioning of resin-metal-bonded diamond grinding wheels Electrolytic conditioning of resin-metal-bonded diamond grinding wheels," Int. J. Abrasive Technology, Vol. 329(1), pp. 136-142, (2007).</li> <li>17) <u>S. Suzuki</u>, T. Kuriyagawa, J. Yan, N. Yoshihara, "Grain exfoliation and control thereof in ultra-precision plane honing of AlN substrates," International Journal of Machining and Machinability of Materials, Vol. 2(1), pp. 37-49, (2007).</li> <li>18) J. Yan, <u>T. Asami</u> and T. Kuriyagawa, "Response of machining-damaged single-crystalline silicon wafers to nanosecond pulsed laser irradiation," Semiconductor Science and Technology, Vol. 22, pp. 392-395, (2007).</li> <li>19) <u>T. Ohta</u>, J. Yan, S. Yajima, Y. Takahashi, N. Horikawa, and T. Kuriyagawa, "High-efficiency machining of single-crystal germanium using large-radius diamond tools, International Journal of Surface Science and Engineering," Vol. 1(4), pp.374-392, (2007).</li> <li>20) S. Lee, Y. Miyamoto, K. Shoji, and T. Kuriyagawa, "Effects of minimizing hydrodynamic pressure in ultra-precision mirror grinding," International Journal of Machine Tools &amp; Manufacturing, Vol. 44, pp. 1031-1036, (2004).</li> <li>21) K. Inoue, F. Yano, A. Nishida, T. Tsunomura, T. Totama, Y. Nagai, and M. Hasegawa, "Monolayer segregation of As atoms at the interface between gate-oxide and Si substrate in a metal-oxide-semiconductor field effect transistor by three-dimensional atom-probe technique," App. Phys. Lett. Vol. 92, pp. 103506-1~3, (2008).</li> </ol>			



- 22) T. Toyama, Y. Nagai, Z. Tang, M. Hasegawa, A. Almazouzi, E. vav Walle, and R. Gerard, "Nanostructural evolution in surveillance test specimens of commercial nuclear reactor pressure vessel studied by three dimensional atom probe and positron annihilation," Acta Mater. Vol. 55, pp. 6852-6860 (2007).
- 23) T. Yamaguchi and K. Hokkirigawa, "Walking-mode maps' based on slip/non slip criteria," Industrial health, Vol. 46 (1), pp. 23-31, (2008).
- 24) J. Ando, T. Yamaguchi and K. Hokkirigawa, "Evaluation of DLC-Si film damage due to friction, "under ATF lubricated condition," Tribology Online, Vol. 3 (1), pp. 1-5, (2008).
- 25) T. Kawaguchi, T. Kawata, T. Kuriyagawa, and K. Sasaki, "In vivo 3-dimensional measurement of the force exerted on a tooth during clenching," Journal of Biomechanics., Vol. 40, (2007), pp. 244-251.
- 26) T. Fukushima, Y. Yamada, H. Kikuchi, and M. Koyanagi, "New Three-Dimensional Integration Technology Using Chip-to-Wafer Bonding to Achieve Ultimate Super-Chip Integration," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 45, No. 4B, pp. 3030-3035, (2006).
- 27) T. Fukushima, H. Kikuchi, Y. Yamada, T. Konno, J. Liang, K. Sasaki, K. Inamura, T. Tanaka, and M. Koyanagi, "New Three-Dimensional Integration Technology Based on Reconfigured Wafer-on-Wafer Bonding Technique," IEEE International Electron Devices Meeting (IEDM) Tech. Dig., pp.985-988, (2007).
- 28) T. Sugimura, T. Sakaguchi, T. Fukushima, T. Tanaka, and M. Koyanagi, "Low Power Spin-Transfer Magnetoresistive Random Access Memory Writing Scheme with Selective Word Line Bootstrap," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 46. No.4B, pp.2226-2230 (2007).
- 29) H. Nishimori, T. Ikeda, T. Arikado, K. Ichiki, T. Ozaki, and S. Samukawa, "50 nm gate electrode patterning using a neutral-beam etching system," Shuichi Noda, Journal of Vacuum Science & Technology A, Vol. 22, No. 4, pp. 1506-1512, (2004).
- 30) T. Kubota, T. Hashimoto, M. Takeguchi, K. Nishioka, Y. Uraoka, T. Fuyuki, I. Yamashita and S. Samukawa, "Coulomb-staircase observed in silicon-nanodisk structures fabricated by low-energy chlorine neutral beams," Journal of Applied Physics, Vol. 101, pp. 124301, (2007).
- 31) S. Samukawa, Y. Ishikawa, K. Okumura, Y. Sato, K. Tohji and T. Ishida, "Damage-free Surface Treatment of Carbon Nanotube and Self-assembled Mono-layer Devices Using a Neutral-Beam Process for Fusing Top-down and Bottom-up Processes," Journal of Physics D, Vol. 41(2) , pp. 024006, (2008).
- 32) F. Iguchi, T. Yamada, N. Sata, T. Tsurui, and H. Yugami, "The influence of grain structures on the electrical conductivity of a BaZr<sub>0.95</sub>Y<sub>0.05</sub>O<sub>3</sub> proton conductor," Solid State Ionics, Vol. 177, (2006), pp. 2381-2384.
- 33) Y. Ito, K. Suzuki, and H. Miura, "Quantum Chemical Molecular Dynamics Analysis of the Effect of Oxygen Vacancies and Strain on Dielectric Characteristic of HfO<sub>2-x</sub> Films," Proc. of IEEE Int. Conf. on Simulation of Semiconductor Processes and Devices, (2006.), pp. 150-153.
- 34) J. Liu, F. Iguchi, N. Sata, and H. Yugami, "Optical absorption of Sr-doped LaScO<sub>3</sub> single crystals," Solid State Ionics, Vol.178, pp. 521-526, (2007).
- 35) D. Hondo, T. Tsurui, N. Kuwata, N. Sata, F. Iguchi and H. Yugami, "Study of proton-conducting oxides by artificial modulation of dopant distribution," Solid State Ionics, Vol. 178(7-10), pp. 685-690, (2007).
- 36) K. Umemori, Y. Kanamori, and K. Hane, "Photonic crystal waveguide switch with a microelectromechanical actuator," Appl. Phys. Lett., Vol.89, No.2, pp. 021102-1-3, (2006) .
- 37) K. Akahoshi, K. Ogawa, and H. Miura, "Non-destructive Evaluation of Creep Damage of Ni-based Superalloy Using A Scanning Blue Laser Microscope," Progress in Fracture and strength of Materials and Structures, pp. 2391-2394, (2007).
- 38) Y. Kumagai, H. Ohta, H. Miura, and A. Shimizu, "Development of Evaluation Method for Estimating Stress-Induced Change in Drain Current in Deep-sub-micron MOSFETs," Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering, Vol. 1, pp.93-101, (2007).
- 39) H. Tohmyoh and T. Akaogi, "Rubber-Coupled Acoustic Microscopy for Dry Inspections of Industrial Products," NDT & E International, Vol. 40(5) , pp. 368-373 , (2007).
- 40) H. Tohmyoh, T. Imaizumi, H. Hayashi, M. Saka, "Welding of Pt Nanowires by Joule Heating," Scripta Materialia, Vol. 57(10), pp. 953-956 (2007).
- 41) A. T. Yokobori, Jr. and R. Sugiura, "Effect of component size, geometry, microstructure and aging on the embrittling behavior of creep crack growth correlated by the Q\* parameter", Engineering Fracture Mechanics, Vol. 74, pp.898-911, (2007) .
- 42) A.T. Yokobori, I. Joichi and T. Iwadate, "Quasi-static Dislocation Model Around a Crack Tip with Moving Dislocations and the Analysis of its Stress Concentration", Strength, Fracture and Complexity, Vol. 5, pp.27-38 . (2007).
- 43) S. R. Ahmed and M. Saka, "Enhancing Repeatability in the Measurement of Potential Drop Using an Adjustable Four-Point-Probe Measuring System," Res. Nondestruct. Eval., Vol. 18 (2), pp. , 69-100, (2007).
- 44) M. Saka, F. Yamaya and H. Tohmyoh, "Rapid and Mass Growth of Stress - Induced Nanowhiskers on the Surfaces of Evaporated Polycrystalline Cu Films," Scripta Materialia, Vol. 56 (12) , 1031-1034, (2007).
- 45) H. Soyama, "Improvement of Fatigue Strength by Using Cavitating Jets in Air and Water," Journal of Materials Science, Vol. 42, No. 16, pp. 6638-6641, (2007).
- 46) S. Nogami, D. Koike, A. Hasegawa, M. Satou, K. Abe, "Study on damage microstructure development of re-welded austenitic stainless steel of in-core component using light-ion irradiation," Proc. of The 13th International Conference on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems (CD-ROM),(2007).
- 47) Y. Ichikawa, S. Barradas, F. Borit, V. Guipont, M. Jeandin, M. Nivard, L. Berthe, K. Ogawa and T. Shoji, "Evaluation of Adhesive Strength of Thermal-Sprayed Hydroxyapatite Coatings Using the LASER Shock Adhesion Test (LASAT)," Materials Transactions, Vol. 48(4), pp. 793-79, (2007).
- 48) D. Seo, K. Ogawa, M. Tanno, T. Shoji, S. Murata, "Influence of Heat Exposure Time on Isothermal Degradation of Plasma Sprayed CoNiCrAlY Coatings," Surface Coating and Technology, Vol.201, pp. 7952-7960, (2007).
- 49) H. Tohmyoh, M. Saka, and Y. Kondo, "Thermal Opening Technique for Nondestructive Evaluation of Closed Cracks," Trans. ASME, Journal of Pressure Vessel Technology, Vol.129, Iss.1, pp. 103-108, (2007).

## ②国際会議等の開催状況【公表】

(事業実施期間中に開催した主な国際会議等の開催時期・場所、会議等の名称、参加人数(うち外国人参加者数)、主な招待講演者(3名程度))

## &lt; 2 1 COE国際会議 &gt;

- (1) Feb. 23-24, 2004, Sendai (仙台国際センター), Japan, “The 1<sup>st</sup> International Conference on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者：200(35),  
代表招待講演者：Prof. Samuel M. Allen (MIT), Prof. Bill Milne (University of Cambridge), Prof. Way Yang (Tsinghua University)
- (2) Feb. 24-25, 2005, Sendai (仙台国際センター), Japan, “The 2nd International Conference on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者156(34),  
代表招待講演者：Prof. Y. Huo (Tsinghua University), Prof. A. Mal (UCLA), Prof. H. Misawa (Hokkaido University)
- (3) Nov.17-18, 2005, Sendai (仙台国際センター), Japan, “The 3rd International Conference on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者156(25),  
代表招待講演者：Prof. D. Collard (LIMMS/CNRS-IIS), Prof. S. Hofmann (Max-Planck Institute), Prof. K. H. Schwalbe (GKSS Research Center)
- (4) Feb. 22-23, 2007, Sendai (仙台国際センター), Japan, “The 4th International Conference on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者155(34),  
代表招待講演者：Prof. M. Schroeder (RWTH Aachen), Prof. J. H. Lee (Pusan National University), Prof. H. K. Bhadeshia (University of Cambridge)
- (5) March 6-7, 2008, Sendai (仙台国際センター), Japan, “The 5th International Conference on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者165(33),  
代表招待講演者：Prof. D. Fang (Tsinghua University), Dr. H. Ohmori (RIKEN), Prof. J-H. Lee (Pusan National University)

## &lt;国際研究教育サテライト拠点ミニシンポジウム&gt;

- (6) Jun 11, 2004, London, UK (Cambridge大学), “Cambridge-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者65(54), 代表招待講演者：Prof. B. Milne (University of Cambridge)
- (7) Sep. 27-28, 2004, Cambridge, MA, USA (MIT), “MIT-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者50(39), 代表招待講演者：Prof. H. Tuller (MIT), Prof. A. Bieberle (MIT)
- (8) Dec. 24-25, 2004, Beijing, China (清華大学), “Tsinghua-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者65(48), 代表招待講演者：Prof. W. Yang (Tsinghua University), Prof. Z. Jun (Tsinghua University)
- (9) Jun 15-16, 2005, Giessen, Germany (ユストゥス・リービヒ大学物理化学研究所), “The 1<sup>st</sup> International Student Workshop: Solid State Ionics: Cross-Frontier Problems in Physical Chemistry and Materials Science,” 参加者73(58), 代表招待講演者：Prof. J. Janek (Justus-Liebig University), Prof. H. I. Yoo (Seoul University), Prof. T. Kawada (Tohoku Univ.)
- (10) Aug. 19-20, 2005, Jinlin, China (吉林大学), “Jinlin-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者58(43), 代表招待講演者：Prof. J. Zhao (Jilin University), Prof. L. Zhang (Jilin University)
- (11) Aug. 2006, Sendai, Japan (東北大学), “PNU-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者30(14), 代表招待講演者：Prof. J. H. Lee (PNU), Prof. M. R. Lee (PNU), Prof. J. H. Park (PNU)
- (12) Oct. 26-27, 2006, Xiamen, China (アモイ大学), “Xiamen-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者99(78), 代表招待講演者：Prof. C. Zhu (President of Xiamen University), Prof. Y. Zhang (Vice President of Xiamen University), Prof. S. Sun (Xiamen University)
- (13) Oct. 30, 2006, Beijing, China (清華大学), “Tsinghua-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者79(58), 代表招待講演者：Prof. F. Pingfa (Tsinghua University), Prof. F. Han (Tsinghua University), Prof. X. Dong (Tsinghua University)
- (14) Jan. 8, 2007, Busan, Korea (釜山大学), “PNU-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者53(41), 代表招待講演者：Prof. J. K. Lee (PNU), Prof. D-G. Lee (PNU), Prof. H. Jeong (PNU)
- (15) Dec. 7-8, 2007, Taipei, Taiwan (国立台湾大学), “TNU-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者65(54), 代表招待講演者：Prof. S-C. Lee (President of NTU), Prof. D. L. Butler (Nanyang Technological University), Prof. F. J. Shiou (National Taiwan University of Science and Technology)
- (16) March 11-12, 2008, Cambridge, MA, USA (MIT), “MIT-Tohoku Joint Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology,” 参加者49(36), 代表招待講演者：Prof. R. Ballinger (MIT), Prof. C. V. Thompson (MIT), Prof. B. Yildiz (MIT)

## 2. 教育活動実績【公表】

博士課程等若手研究者の人材育成プログラムなど特色ある教育取組等についての、各取組の対象（選抜するものであればその方法を含む）、実施時期、具体的内容

本プログラムでは、幾つかの専門領域にまたがる学際的研究教育をスパイラル状に実施しながら専門能力を高めていく専門研究教育プログラムと、それぞれの特徴を有する海外の国際研究教育サテライト拠点を巡回しながら国際的な視点での専門能力をスパイラル状に高めていく国際研究教育プログラムを有機的に組み合わせた「ダブルスパイラル研究教育プログラム」を新たに導入する。拠点形成において特に留意したい点は、ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティアに関する学理の追求と、一方では社会的に顕在化したあるいは潜在的問題解決を実践し学術研究が人類のためのものであることを両立させることである。特に博士後期課程の学生には、研究者としての資質と同時に、学術研究が人類のためであることを強く認識させることが重要であり、例えば「学提案型プロジェクト」の推進はそのことを念頭に置いて計画されている。すなわち、学生は研究プロジェクトに参画し、研究の社会的意義と成果を得るための研究実践の手法を学ぶ。ナノテクノロジー基盤機械科学フロンティアの教育拠点は、ナノ材料・ナノ加工、ナノマシン・ナノシステム、ナノ計測とナノレベルでの現象解明に裏付けられた大型機器構造物の長期的信頼性の確保等にまたがる広い領域をカバーするものであり、従来の機械工学の概念を打ち破る新たな学術基盤を構築するとともに新産業創出の発信拠点並びにそれを中核的に担う人材養成拠点の役割を果たすことを目的に活動を推進した。

まず、博士課程学生で国際共同研究プロジェクトに応募したい者には、指導教員の推薦書付きで提案研究の概要と実施計画、国際共同研究の必要性と具体的な研究機関等を記載した応募書類を提出させ、運営委員会での書類選考とヒアリング（面接試問）を実施し、5名/年度を目途に選抜した学生を3ヶ月～1年の範囲で派遣した。事業としては往復の渡航費と滞在費、研究消耗品費等を全額支援した。結果として23名の学生を派遣した。なお、選考に漏れた学生にも国際学会の発表に関しては積極的に支援し、原則2回/年度までは往復の旅費と滞在費、参加登録費等を支援した。結果として事業全体で約150名の学生に国際学会発表の機会を与えた。国際交流機会の付与という視点からは、21COE主催の国際会議で招聘した招待講演者と学生の交流の場も設定した。例えば、代表的な事例としては、1999年ノーベル化学賞受賞者のカリフォルニア工科大学A. Zewail教授（ナノスケールでの材料表面腐食反応分析（応力と環境依存現象の解明）に関する国際共同研究推進のため招聘）との懇談会などを実施した。

さらに、学生特別研究費奨励費制度を設置し、博士課程学生と若手研究者（博士研究員）に最大100万円/人・年度の研究費を付与した。選考は前述した国際共同研究プロジェクト派遣と同様に、研究概要と実施計画、研究費の用途等を文書で応募させ、運営委員会での書類審査を実施し、金額含め採択者を決定した。場合によっては、一部候補者にはヒアリングも実施（研究計画概要の説明と質疑応答）した。（配布総額は各年度の予算計画により500万円～1000万円/年度。）

なお、国際共同研究プロジェクトに参画した学生の学位取得においては、派遣先の教授が来日可能な場合は学位審査の審査委員（副査）に就任頂き、延べ8名の学位審査は海外大学の教授が審査に加わった。

海外（Cambridge大学、MIT（米国）、清華大学、釜山大学等）からの博士研究員、博士課程学生の受入は事業全体で18名であった。また、海外から学生を受入れた場合、派遣元の大学が海外審査員を認めている場合には受入教授が当該学生の学位審査に加わることで、本事業範囲では2名の教授が学位審査委員を務めた。

大学院の5年間一貫教育制度の構築を目的とし、修士課程から博士課程進学を動機付けるため、国際研究教育サテライト拠点で開催したミニ国際シンポジウム（事業全体で11回開催）には、修士課程学生にも講演（主にポスターセッション）の機会を与え、海外の博士取得を目指して学んでいる同世代学生との研究交流会と親睦会（ヒューマンネットワークの構築）を実施した。事業全体では約50名の学生に機会を与えた。これにより修士課程研究の動機付けが強化されるとともに、博士課程進学率の向上にも効果があったものと考えている。この修士課程学生に対する動機付け強化カリキュラムは、大学院教育改革プログラムで平成19年度に採択された「機械工学フロンティア」に引き継がれ、継続的な教育プログラムとして実施している。

なお、分野横断型の専門教育プログラムとしては、指導教員以外の他の教授からの研究推進アドバイスも受けられるよう、拠点内シンポジウムも開催し、多面的な視野で各学生あるいは博士研究員の研究概要あるいは研究計画につき事業推進者が遠慮なく議論する場も設定した。

以上の教育プログラムの具体的な実施効果として、学生の国際学会講演数の約30%の増加（事業推進前～事業推進後2年間の平均：50件/年 → 事業後半3年の平均：65件/年）や、国内外学会等での受賞件数の増加（事業前半の平均：5件/年 → 事業後半の平均：20件/年）などを挙げることができる。

21世紀COEプログラム委員会における事後評価結果

(総括評価)

設定された目的は十分達成された

(コメント)

拠点形成計画全体の目的達成度については、十分達成されたと判断できる。「ナノメカノケミストリー」、「ナノ材料・ナノ加工」、「ナノ材料強度・信頼性」及び「ナノマシン・ナノシステム」の4つの研究グループを組織し、従来の機械工学における4力学に加え、学術内容のナノレベルでの本質の解明に欠かせない物理化学、量子力学と計算科学を基盤とする新しい「機械科学」の創成を目指し、国際的な研究教育活動を繰り広げており、評価できるが、今後、平成10年度に産学連携組織として設置された「未来科学技術共同研究センター」との連携協力について検討が望まれる。また、国際高等研究教育機構との役割分担・連携協力関係や規模について明確にすることが望まれる。

人材育成面については、ダブルスパイラル研究教育プログラムを創出しており、新たな学術基礎を構築するとともに、新産業創出の発信拠点並びに中核的に担う人材育成拠点の創出に向けて活動を開始しており、評価できる。

研究活動面については、統一テーマ「機械科学に基づく機能的インターフェースの創成と制御」を掲げ、重点融合テーマとして、軽水炉用材料の応力腐食割れ対策の効率的システムの開発研究及び耐摩耗システムの開発研究などを推進し、成果をあげており、評価できる。

補助事業終了後の持続的展開については、平成19年度に設置した国際高等研究教育機構に引き継ぐ計画となっており、今後の展開に期待する。

21世紀COEプログラム平成15年度採択拠点事後評価  
 評価結果に対する意見申立て及び対応について

意見申立ての内容	意見申立てに対する対応
<p><b>【申立て箇所】</b>            評価できる『が、平成10年度に産学連携組織として設置された「未来科学技術共同研究センター」と国際高等研究教育機構との役割分担・連携協力関係や規模について明確にすることが望まれる』。</p> <p><b>【意見及び理由】</b>            「未来科学技術共同研究センター」は本学におけるあくまで個別教員と企業との大型共同研究等の推進拠点であり、教育研究を主眼に置いたCOE拠点及び国際高等研究教育機構とは直接の関係はなく、過去の業績報告等の提出書類においても連携等の記載は一切ありません。また、採択時のヒアリングあるいは中間ヒアリング等でも本指摘内容に関するご質問あるいはご指摘等を文書口頭いずれにおいても受けた経緯もございませんので、『アンダーライン』部分の文章の削除をお願いしたい。なお、国際高等研究教育機構との関係については、コメント欄最後に記載の通りであり、引継ぎは既に開始しております。</p>	<p><b>【対応】</b>            以下の通り修正する。            評価できるが、今後、平成10年度に産学連携組織として設置された「未来科学技術共同研究センター」との連携協力について検討が望まれる。また、国際高等研究教育機構との役割分担・連携協力関係や規模について明確にすることが望まれる。</p> <p><b>【理由】</b>            「未来科学技術共同研究センター」については、連携協力について検討いただきたいという趣旨が明確になるように修正し、国際高等研究教育機構については、引継ぎに当たって、役割分担・連携協力関係や規模について明確にすることが望まれるという趣旨が明確になるよう、修正した。</p>