

#### 4. 外国人特別研究員との共同研究の概要（外国人特別研究員との分担状況を明らかにした上で簡潔に記述してください。）

微小機械(MEMS/NEMS)、センサー、電子デバイス等の構造物は複雑な構造を有するため、応力・ひずみが集中する部分から破壊が生じて全体の機能喪失に陥ることがある。その防止には、ナノメートル・スケールの破壊の機構および力学を理解する必要があるが、実験観察の困難さ等のために研究は進んでいない。

受入れ研究者は、ナノメートル・スケールの材料強度に関する実験方法を開発するとともに、理論解析研究を行ってきた。その結果、微小材料の破壊実験に関する充実した設備およびノウハウを有している。一方、外国人特別研究員は、局所領域内のひずみやひずみエネルギーに基づく亀裂発生や進展のクライテリオンを研究してきている。本プロジェクトは、両者のこの実績を背景に、ナノメートル応力集中部を有する切欠き材料の破壊実験を受入れ研究者の設備および経験を利用して行い(受入れ研究者のグループが主導)、その結果より外国人特別研究員の連続体力学を基盤としたモデルの適用性やそのナノメートル・スケール構造体における適用下限について研究することである(外国人特別研究員が主導)。

#### 5. 外国人特別研究員との共同研究の成果とその評価

図1は、ナノメートル・スケールの棒材を単結晶シリコンで作成し、破壊の起点となる三角形状の切欠きを導入した試験片の走査型電子顕微鏡写真である。受入れ研究者が所有する微小材料負荷試験装置(図2上図)によって、破壊の発生・進展に関する精密な破壊実験を行うとともに、電子顕微鏡によって破壊過程のその場観察を実施した(図2下図)。これらの実験結果に基づく数値解析より、数 nm の応力集中によって切欠き底における局所破壊がもたらされていることが判明した。また、それが、連続体力学に基づく破壊モデルが数 nm 以上の応力集中域では適用可能であるに対して、それ以下では適用ができなくなることも明らかにした。すなわち、連続体モデルの破壊への適用下限であり、それ以下の寸法では原子による離散性を考慮した理論の構築が必要である。これらの成果は、国際会議において特別研究員や受入れ研究者が速報をいくつかの国際会議において報告し、すでに3報が国際研究誌に掲載または掲載待ちとなっている。

さらに、実験解析の成果を受けて、第2年度より分子動力学法による原子構造体における微小切欠き底からの破壊シミュレーションに取り組み始め、すでに初期的な結果を得ている。この結果を基に、離散性を考慮した破壊力学の理論解析にも取り組んでおり、論文発表の準備を進めている。

本プログラム終了後においても、上述の関連課題について、継続的に共同研究を行う予定になっている。

特別研究員は、受入研究者の研究室所属スタッフや大学院生と積極的に交流を図り、高度な実験装置を共同で使いこなすなど、協調性や指導力に優れている。これが、優れた共同研究の成果に繋がったものと判断している。

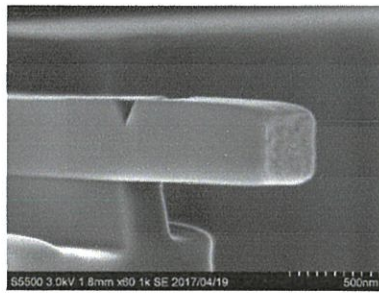


図1 収束イオンビームを用いて精密に作製した片持ち梁型微小試験片

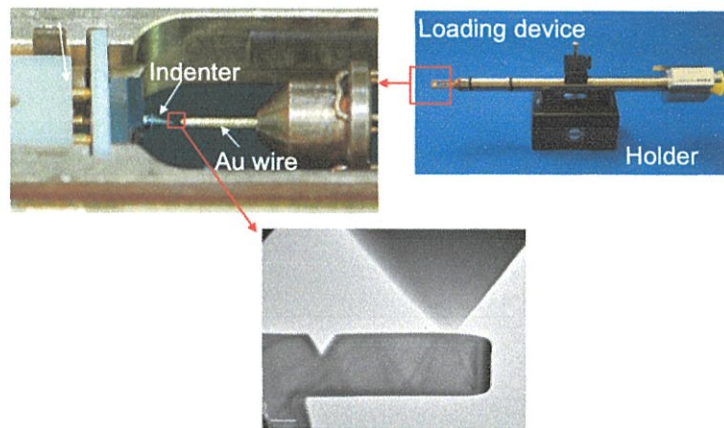


図2 微小負荷試験装置（上図）と電子顕微鏡を用いた観察破壊試験の様子

また、来日前より特別研究員は力学解析についてイタリア、フィンランドの研究グループと緊密な関係を築いてきた。一方、受入れ研究者の研究室には中国からのポスドクや博士課程学生がおり、彼らとの交流を通じて中国の研究グループとも研究情報交換を開始した。彼らの帰国後も特別研究員は力学理論解析に関する研究を中心として交流を続けている。本プロジェクトでは、提案の段階からナノメートル・スケールの破壊力学研究の国際ネットワークを築くことが目的の一つであった。特別研究員は、その実行に尽力し、すでに研究協力が開始されている。例えば、特別研究員は積極的に国際会議等の機会を利用して当該研究グループ間における情報交換の機会を作り、受入れ研究者のグループの研究に対する国際専門誌へのレビュー論文の要請や欧州で開催された国際会議における招待講演に繋がっている。プログラム終了後は、特別研究員はこれらの成果を基にアールト大学(フィンランド)で本課題の発展を続けることを決意しているが、研究発表を聞いた他グループからの研究オファーもあり、その実力と成果が当該分野において高く評価されている。帰国後の研究の発展とともに、国際ネットワークのさらなる充実を期待している。なお、新任地における本研究成果に対する事前評価より、実験研究グループの立ち上げを期待されており、我々もそれについても支援したいと考えている。