

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「先進的統合センシング技術」  
研究課題「応力発光体を用いた  
安全管理ネットワークシステムの創出」

## 研究終了報告書

研究期間 平成18年10月～平成24年3月

研究代表者：徐 超男  
( (独) 産業技術総合研究所  
生産計測技術研究センター  
研究チーム長)

## § 1 研究実施の概要

### (1) 実施概要

本研究は、構造物全体の応力状態を、独自の応力発光デバイスによって包括的に監視し、重大事故につながる破壊や劣化を早期に予知・検出する新安全管理ネットワークシステムを創出する。具体的には、産総研の応力発光技術グループ（AIST グループ）に加え、構造物の異常診断、応力解析の専門家（KYUDAI グループ）、センサネットワークの開発メーカー（LP グループ）、およびトンネル等の構造物安全検査の企業（TAISEI グループ）と研究チームを構成し、世界に先駆けて、【リアルタイム応力異常検出システム】、【応力履歴記録システム】の開発を行い、これらを【ネットワークの接続・統合】によって包括的な安全管理システムを創出した。さらに、研究チームに加えて、ユーザー企業、学会・行政・試験団体等の協同により、研究成果のセンサシステムの実現場への実証試験および最適化を行った。

広範な社会的なニーズの強い要請に応えるために、どこにでも適用可能な、【応力発光塗膜】センサの開発を行い、高耐久性のスケラブル応力発光センサを初めて実現した。

構造物の異常・劣化の早期診断を可能とするため、負荷状態を反映した応力発光検出に適した、光センシングデバイスの開発を行い、高性能な【有線イメージノード】と、【無線光検出ノード】の試作に成功した。また応力発光信号から構造物の診断を行うために必要な、診断【データベース】を構築し、加えて、システム化に必要なインタフェースの最適化を行い、事故予防・保守管理に資する、【リアルタイム応力異常検出システム】を創出した。

これを補完する「応力履歴記録システム」の創出と最適化、並びにこれらのシステムのセンシングエリアを「ネットワークによって連結・統合」することにより、全関心領域の包括的な【ネットワーク安全管理システム】を実現した。

実環境での長期間モニタリングのため、100 万回以上の試験や耐水性・耐久性のある応力発光塗膜センサの実証とともに、異常検出システム、応力履歴記録システム、それらを統合するネットワークシステムを実構造物に適用した。また、各種診断データベースを累積し、モニタリングした応力発光の信号から、構造物の応力レベルや損傷診断が可能になった。

研究加速のため、システムの適用化の研究と同時に、実構造物での実証試験を平行して行い、前記の各システムの適用化を図りながら、実構造物・実現場環境での実稼働を実現した。実証試験では、供用中の橋梁での安全性評価や高圧タンクの検査に適用するなど、実世界での実用構造物への安全管理のサービス化を検証している。供用中の橋梁の遠隔モニタリングの実証試験を長期間行い、システムの最適化を行った。また、建物、高圧タンク、工場設備等の実構造物での安全管理等の実証試験を加えて20件以上行った。

実証試験を通して、①既存構造物の超高寿命化に必要な異常検出や健全性評価、破壊予知に必要な危険レベル診断、マイクロクラックの発生の検出、および亀裂進展のモニタリングに成功した。②新規製造構造物の軽量化と安全化の両立に必要な応力分布の可視化などに成功している。すなわち、既存構造物、新規の構造物（製品）を問わず、構造物の健全度を評価し、適切なメンテナンス或いは、最適な設計・生産を行うことにより構造物全体の安全化に貢献できる。

本成果は目視できないマイクロ亀裂の検出から、巨大な橋梁の毀損部位の診断、パイプラインの健全性・寿命評価など広く適用できることを実証している。【技術提供希望相談 200 社以上】を受け、社会から大きな関心が寄せられている。

## (2) 顕著な成果

### 1. 応力発光塗膜センサ (成果物：特許&試作品&論文&表彰&TV&等)

概要：長期モニタリングに利用可能な、応力発光塗膜センサを開発し、国内外における知的財産の形成と共に、学術分野の創出、実構造物の安全性評価に貢献している（知財収入、招待講演、多数学会誌解説、学術賞表彰等）。

### 2. 構造物の安全管理システム (成果物：特許&試作品&論文&表彰&プレス発表等)

概要：予測ができない不良や亀裂の発生や、その形状・進展を可視化する遠隔モニタリングシステムを初めて実現した。損傷の度合いや危険レベルを同時に診断することができ、外観から見ることでできない構造物の異常の包括的な見える化を実現した（招待講演、多数学会誌解説、学協会表彰等）。

### 3. 実構造物の損傷評価の実証 (成果物：特許&論文&表彰&プレス発表等)

概要： 開発したセンサ・システムは、橋や建物、設備などの実構造物の安全管理に有用であることを実証した。応力発光による亀裂の発生予知・分布・進展・変位量を可視化でき、応力発光からひび割れの危険度の評価に成功した。

## § 2. 研究構想

### (1) 当初の研究構想

#### ・ 研究のねらい・目標

化学プラント等の産業構造物やトンネル・橋梁などの社会資本構造物の事故は、一度発生すると社会的・経済的に大きな損失を伴うものとなりやすい。しかし通常は、重大な事故に至るまでには予兆や小さな異常が発生しており、これらにその都度対応することができれば、重大な事故を未然に防止するだけでなく、大規模な改修によらずとも的確かつ効率的にメンテナンスをすることによって構造物の長寿命化を実現することができる。構造物全体の危険箇所を一刻でも速く検出する安全管理システム技術が切望されているにもかかわらず、現状では人間の目視検査をはじめとする事後的かつ非常に限られたサンプリングによる手段に頼らざるを得ない。構造物の安全管理システム実現の困難性は、①危険発生箇所の予測は現実的に困難であり、構造物全体を包括的にモニタリングしなければならないこと、②初期異常の発生は非常に局所的であり、時間的な予測も困難であること、③なおかつ、経済的な観点からエネルギー消費・施工コスト・ランニングコストを最小限に抑えなければならないこと、の三点に集約される。

これらの困難性を克服するものとして、本研究では、応力発光体の新規センサとして用いた構造物の安全管理ネットワークシステムの創出を目的とする。世界に先駆けて、構造物の異常・危険を的確に早期予知する統合安全管理モニタリングネットワークシステムの確立と実証を目指す。

具体的には、①亀裂発生などの異常検出に必要な不可欠である、 $100\mu\text{m}$ スケールでの応力異常を検出するリアルタイム応力異常検出システム、②危険予知を行うために必要とされる、 $100\mu\text{m}$ ひずみ以上の履歴をメモリーする応力履歴記録システム、の二種類の基礎システムの開発を集中的に行うとともに、③これらをネットワークによって統合し、構造物全体の監視／診断をおこなうシステムを構築する。さらに、チーム内外連携、実用化担当企業等の参画により、このシステムの各種プラントにおける配管やトンネル等での実証試験および最適化をおこなう。

これらの研究成果に基づいて広範なユーザー獲得を行い、安全・安心な社会を維持する技術として実用化と普及を図る。

#### ・ 研究計画・進め方

本研究では、構造物の異常・危険を的確に早期予知する革新的な安全管理システムを開発するために、まず①リアルタイム応力異常検出システムを開発する。従来技術では実現が困難である  $100\mu\text{m}$  の微小亀裂の発生を検出可能なシステムを構築する。同時に、②理想的に危険予知を行なうために必要とされる  $100\mu\text{m}$  ひずみ以上の履歴を記録可能な応力履歴記録システムを開発する。これらの二種類の基礎システムで得られた情報に対して最適な通信方式やシステムの設置方法の検討を行うとともに、③これらをネットワークによって接続・統合し、構造物全体の監視／診断をおこなう安全管理ネットワークシステムを、構築する。その後、このシステムの配管やトンネル等での実証試験および最適化をおこない、応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの有用性を実証する。

#### ①リアルタイム応力異常検出システムの開発

事故予防・保守管理に資する、構造物の安全管理システムとしては、①構造物全体を包括的にモニタリングすること、②微小な亀裂・異常の発生を検出できること、③エネルギー消費・施工コスト・ランニングコストを最小限に抑えることが切望されている。しかしながら、従来センサでは広範囲のセンシングエリアを確保しながら同時に局所的な部位の検出感度を保持することは困難を極める。これに対応するものとして、提案者らは独自の応力発光技術

を用いたマルチスケールセンシング技術の開発を長年行ってきており、これまでに応力発光塗膜センサとして、数百 $\mu\text{m}$ から数十 $\text{cm}$ までの応力分布のリアルタイム計測、および弾性領域から塑性領域、亀裂予知までの全過程の観測に成功している。本研究において、この現有のセンサ技術を基に創出する新規なリアルタイム応力異常検出システムは、発生する応力分布を光に変換する応力発光体を利用した応力発光塗膜と、発光を検出する画像センサより構成される。既に我々は、金属材料をはじめ、様々な材料に塗布して応力発光を検出することが可能な応力発光塗膜を見出している。しかし危険性のない微小な応力の検出は信号処理の負担や画像センサのダイナミックレンジ縮小の原因にもなるため、本研究では、対象物寿命に影響する応力レベル以上の歪みを検出する、閾値機能を有する応力発光塗膜センサの開発を行う。すなわち、応力発光塗膜の組成の検討により、所定の歪量以上の変形に対してのみ発光するレベルセンサを開発する。応力発光の発光強度は、応力発光材料に伝わる歪エネルギーの時間変化率に比例することがわかっている。樹脂と応力発光材料との複合材料である応力発光塗膜は粘弾性体であり、力学的な応答は周波数及び歪量の非線形な関数として制御可能である。そこで、応力発光塗膜の組成・構造を最適化し、応力発光の閾値を対象物に必要なレベルに合わせることで、所定の歪量以上の変形に対してのみ、発光を検出する高信頼性の応力異常検出システムを構築する。

想定配管およびトンネルにおいて、 $100\mu\text{m}$ ひずみ以上で、変動周波数(0.1~100Hz)の範囲における、応力発光強度の定量評価を行い、発光強度から応力・ひずみレベルの程度を判断するためのデータベースを構築する。

本研究では、応力発光センサの開発において、応用対象に適したセンサデバイスの最適化(膜厚、組成など)を行うとともに、長期モニタリングできるよう、温度特性、耐候性・耐久性の評価と向上を図る。

また、応力発光塗膜からの発光特性を考慮し、対象物に適した画像センサの画素数、サンプリングレート、情報転送方式(有線、無線)、転送速度、設置方法等を選択し、視野内での $100\mu\text{m}$ レベルの微小な亀裂の発生を検出可能なリアルタイム応力異常検出システムを構築する。

このような局部までの異常を検出可能にするのは、応力発光センサの特徴である。この異常検出は画像センサの分解能とは異なる概念であることを注目すべきである。本研究では、画像技術専門家、システム専門家、ネットワーク企業等の参画により、複数の画像センサを連携させ、複雑形状部位の計測精度の向上、システムの簡便化、ロバスト性向上、観測可能面積の拡大等を図る。

## ②応力履歴記録システム

上記システム①は応力異常を発光としてリアルタイムで検出し、極めて小さな領域の異常を検出できることが特徴である。しかしながら、十分なサンプリングレートで発光を観測し異常を診断する必要があるため、情報処理能力・通信容量が要求される。そこで、全体システムの最適化を図る上で、上記システム①を補完する役割を担う応力履歴記録システムの開発を行う。応力履歴をその場に記録することによって情報処理・伝達量を減らし、センサノードの小型化・省エネ化・簡便化を図る。

これまでに応力発光体から発生した光エネルギーにより引き起こされる光化学反応を利用し、塗膜の色調を変化させることによって応力履歴を記録することを目指してきた。大きな課題は、光反応により履歴を記録するためにはエネルギーの大きい短波長の発光を示す応力発光体の適用が望まれることである。ついに2005年に青色~紫外域で発光する応力発光体を見出した。さらに同年度末に、応力発光体と色素を複合化させることによって、連続的な応力発光によって色素を色変化させることに成功した。しかしながら、検出感度などの特性は、まだ不十分である。そこで、本プロジェクトでは、新規な短波長応力発光体と有機色素、フォトクロミック材料との組み合わせを検討することにより履歴検知感度の向上を図るとともに、光触媒との組み合わせによる高感度化を検討する。高い記録応答性の実現と、応答の線形性を有する応力発光体と記録系の組み合わせの最適化により、 $100\mu\text{m}$ ひずみレベルの応

力履歴を記録することを可能にする。さらに、記録の線形性、耐久性、耐候性の評価と特性向上を行い、応力履歴記録システムを創出する。本システムの特徴は、最大応力履歴がセンサデバイスそのものに記憶されることにある。発光そのものではなく積分された色調変化を観測することによって、低サンプリングレートでの観測が可能となり、情報処理及び伝送負荷を低減することができる。

### ③ 構造物全体の監視／診断ネットワークシステムの構築

上記で開発したシステム①および②を対象物に複数箇所配置し、各々のシステムからのデータを、ネットワークを経由して取得し、統合して処理を行うことにより、構造物全体の応力異常状態を再構成する監視／診断システムの構築を行う。

多数のセンサ群の情報伝送手段として、有線あるいは無線伝送を選択することができる。後者の通信手段のワイヤレス化はスパゲティ症候群への対処方法として非常に有効であるが、例えば、工場内の配管の場合にはモーターなどの誘導ノイズの干渉、トンネルの場合には微弱電波では吸収されやすいといった問題点があることに注意が必要である。本プロジェクトでは、多数のセンサからの情報の的確な伝達と、消費電力・メンテナンスを最小限に抑えることが可能な通信ネットワークを実現する。上記①および②のシステム完成と同時にネットワークへの接続可能な状態にするため、まず既存画像センサによるネットワークシステムを構築し、シミュレーションデータによってネットワークシステムを駆動させる。最終的には画像センサを上記①および②のシステムに置き換え、実データによる駆動を実証し、システムを完成させる。ワイヤレス通信の適応が困難な場面については、情報コンセント、電話回線、光通信、LANなどの情報ラインを利用する。

### ④ 実構造物での実証試験と最適化

本プロジェクトは、キラーアプリケーションの実証試験としてまず配管系とトンネルに着手する。図 2. 1 に本研究成果によるサービスイメージの一例を示す。開発されたシステム①と②の設置について、それぞれの特徴を活かして対象物に最適に配置する。たとえば、システム①は局部の異常でも検出できるため、特に異常応力集中の発生しやすい場所に配置し、常時モニタリングする。システム②は簡便に応力履歴がわかるため、パトロール点検へも適用可能である。

さらに、システム全体のマネジメントについて検討し、地震などの異常発生時に全情報を取得・記録するトリガ機能の付与、基準値の超過を管理事務所や関係者の携帯に警報として自動的に発信する機能、無線ネットワークにおける送信有効画素数の抽出機能などの機能をもつ完全管理システムを創出する。最終年度において、実構造物での実証試験および最適化を行い、全体の危険箇所を包括的に、かつ局部の異常を漏れなく検出可能な、安全管理システムの有用性を実証する。

また、本システムのコンセプトモデルを早期に構築し、積極的に外部に提示することによって、幅広いユーザー獲得の呼び水とする。システム全体でなく部分的に利用するユーザーについても、これを排除するものではなく、知的財産のライセンスなどにより本研究成果の幅広い実用化を促進する。

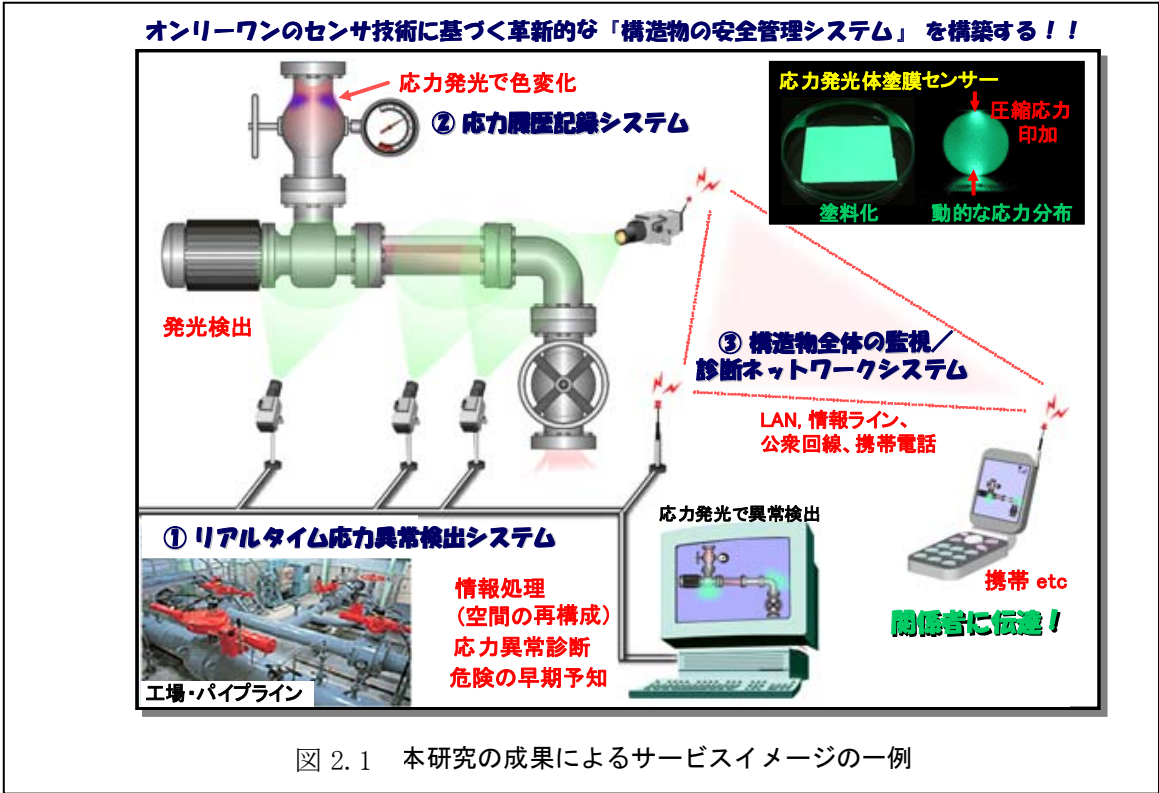


図 2.1 本研究の成果によるサービスイメージの一例

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

・当初計画では実構造物の実証試験は、配管系とトンネルを対象にしていたが、研究進展に伴い、トンネルは安定であることが分かった。また、変動負荷が加わっている構造物は緊急に安全管理することが要求されている。技術相談や技術提供の要請が多く寄せられ、その中でもニーズの特に高い構造物、橋梁、建物、高压容器、生産設備、製品を選定し、実証試験に加え、研究を加速させた。

### § 3 研究実施体制

#### (1)「AIST」グループ

##### ① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
徐 超男	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	研究チーム長	H18.10～
山田 浩志	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	主任研究員	H18.10～
上野 直広	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	主任研究員	H18.10～
寺崎 正	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	研究員	H18.10～
西久保 桂子	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	主任研究員	H18.10～H22.3
福田 修	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	主任研究員	H18.10～
今井 祐介	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	主任研究員	H18.10～H22.2
安達 芳雄	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	主任研究員	H18.10～H22.3
ト 楠	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	研究員	H18.10～H22.3
竹村 貴人	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	客員研究員	H18.10～
Li Chenshu	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H21.7～H23.6、 H23.9～
張 琳	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H22.4～
郭 樹強	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H22.11～H23.8
郭 樹強	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H23.9～H23.12
坂田 義太郎	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H23.4～
小野 大輔	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H21.4～H21.7 H22.4～H23.3
小野 大輔	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H21.8～H22.3
李 承周	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H21.7～H21.8
椿井 正義	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H20.1～H22.3
金 宗煥	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	特別研究員	H21.8～H22.3
古賀 義人	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H19.11～H22.3



川崎 悦子	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H19.4～
山口 ふじ子	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H19.4～
津山 美紀	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H19.4～H20.3
津山 美紀	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H22.4～H24.3
百田 理恵	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H19.4～
林 玲子	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H19.4～H23.3
河原 弘美	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H19.12～H20.4
河原 弘美	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H22.6～24.3
松尾 修身	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H20.5～
河野 陽子	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H21.4～H22.11
末成 幸二	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H22.4～
二宮 正晴	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H22.9～
Zhang Yan	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H22.11～H23.8
Zhang Yan	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H23.9～H23.12
古澤 フクミ	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H22.9～H23.3
古澤 フクミ	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H23.4～
久保 正義	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H22.4～H23.3
久保 正義	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H23.4～
菊次 郁夫	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	テクニカルスタッフ	H22.11～
有本 里美	産業技術総合研究所 生産計測技術センター	アシスタント	H22.11～

## ②研究項目

応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステム

リアルタイム応力異常検出システム

- ・ 発光閾値機能の付与
- ・ 振動周波数－発光特性データベース
- ・ 塗膜センサの耐久性・耐候性の評価およびその向上

- ・ 光センシング方式の開発
- ・ 亀裂検出システムの構築と実証試験

応力履歴記録システム

- ・ 応力履歴記憶方式の選択
- ・ 検出限界(範囲)と記録の線形性評価
- ・ 単一型応力記録センサの開発

構造物全体の監視・診断ネットワークのシステムの構築

- ・ 従来技術の分析と課題抽出
- ・ 0次システムの構築
- ・ センサノードの要素技術開発
- ・ ネットワークシステムの構築
- ・ ネットワークノードの試作・改良

上記各システムの有用性の実証と適用化

(2)「KYUDAI」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
汪 文学	九州大学応用力学研究所 工学府航空宇宙工学専攻	准教授	H18.10～
徐 超男	九州大学大学院総合理工学府、産総研	教授	H20.4～
村上 敬宜	九州大学大学院工学研究院	教授	H18.10～H20.3
高雄 善裕	九州大学応用力学研究所 工学府航空宇宙工学専攻	教授	H19.4～
松原 監壮	九州大学応用力学研究所	技術職員	H18.10～
祖 磊	九州大学大学院工学府 航空宇宙工学専攻	博士後期課程	H19.4～H19.9
張 琳	九州大学大学院総合理工学府	博士後期課程	H20.4～H22.3
Zhan Tianzhuo	九州大学大学院総合理工学府	博士後期課程	H20.4～
宋 昌錫	九州大学大学院工学府	博士前期課程	H21.4～H23.3
陳 瑩	九州大学大学院工学府	博士前期課程	H21.4～H23.3
吳 川行	九州大学大学院総合理工学府	博士後期課程	H21.10～H23.9
李 晨姝	九州大学大学院総合理工学府	博士後期課程	H21.4～H21.6
志賀 元泰	九州大学大学院総合理工学府	博士前期課程	H21.4～H22.3
寺澤 佑仁	九州大学大学院総合理工学府	博士後期課程	H21.4～
上村 直	九州大学大学院総合理工学府	博士前期課程	H21.4～
田中 敏明	九州大学大学院総合理工学府	博士前期課程	H21.4～H23.3
森 祐介	九州大学大学院総合理工学府	博士前期課程	H23.4～
福田 剛行	九州大学大学院総合理工学府	博士前期課程	H22.4～

② 研究項目

- ・ 異常診断ソリューション  
塗膜センサの計測信頼性の向上  
応力異常検出データベースの構築

### (3)「LP」グループ

#### ①研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
辻 卓則	(株) ロジカルプロダクト	代表取締役社長	H19.4～
坂井 寛	(株) ロジカルプロダクト	研究員	H19.4～H23.3
坂井 寛	(株) ロジカルプロダクト	研究員	H23.4～
迫田 英之	(株) ロジカルプロダクト	設計技術者	H20.4～
田中 崇和	(株) ロジカルプロダクト	代表取締役会長	H18.10～
大多和 丈成	(株)ロジカルプロダクト	グループリーダー	H18.10～
田中 雄一郎	(株)ロジカルプロダクト	主任技師	H18.10～

#### ②研究項目

- ・通信ネットワークの開発

### (4)「TAISEI」グループ

#### ①研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
篠川 俊夫	エンジニアリング事業部	グループ長	H18.10～
柏井 善夫	技術研究所	技師長	H18.10～H22.3
青木 俊朗	資源エネルギー事業部	グループ長	H22.4～H23.7

#### ②研究項目

- ・実構造物での実証試験と最適化

AIST、Kyudai、LP グループも全て実証試験に協力し合い参画するため、実証試験はチーム全体をまとめて報告する。

## § 4 研究実施内容及び成果

### 4.1 応力発光体を用いたリアルタイム応力異常検出システムの開発（「AIST」グループ）

#### (1) 研究実施内容及び成果

本システム開発では、応力発光塗膜センサからの発光を、有線あるいは無線のセンサノードにより計測し、構造物の異常をリアルタイムに検出することを目指している。リアルタイム応力異常検出システムを構築するための基盤となる、応力発光塗膜センサの最適化および特性データベースの構築を行なった。応力発光による応力異常診断ソフトを開発し、応力発光塗膜センサ、応力発光計測センサノードを試作・改良し、リアルタイム応力異常検出システムの構築を行なった。また、実構造物への適用に応じて異常検出システムを改善し、性能向上と最適化を行なった。

#### ・応力発光塗膜センサの最適化および特性データベースの構築

応力発光特性試験装置(図 4.1.1)を用いて、構造物を構築する一般的な金属系材料のモデルとしてステンレス系材料を試験基板として用い、応力発光塗膜センサを作成して、種々の条件での応力発光特性の比較・評価を行なった。特に、繰り返しひずみや耐環境性の評価、応力条件に対する応答性のデータベース化、構造物の安全性に重要な影響を及ぼす亀裂部位での発光特性につい

て、重点的に検討を行ってきた。更に、応力発光塗膜センサの応答性データベースを向上するため、全自動リアルタイム応力発光定量化システムを完成し、発光計測だけでなく、自動的にデータ蓄積とグラフ化が可能となり、省力的なデータベースを構築することが可能になった(図 4.1.2)。このシステムにより、各種歪み・歪み速度の広範囲な応力発光の定量的な評価ができた。



応力発光材料や樹脂組成、塗膜構造について種々検討を行ない、応力発光塗膜センサからの発光の応力/ひずみ感度を調整する手法を確立した。その中で、最も感度が高く、様々な光計測機器での発光特性評価を行なうことの出来る塗膜センサについて、構造物リアルタイムモニタリングに用いることを念頭に、必要な様々なデータの取得および蓄積を行ってきた。

応力発光塗膜センサの耐久性について、代表的な構造部材であるステンレス系基板を用い、弾性限界の80%に相当するひずみ量(1,600 マイクロひずみ)を100万回繰り返して加えた後も、応力発光特性の低下が見られない、耐久性に優れた塗膜組成を見出した(図 4.1.3)。また、耐水性(浸水1週間)、耐温水性(60℃水1週間)についても確認することができ、現場での実用に供しうる耐久性を有していることを示した。

耐久性のある応力発光塗膜センサを用いて、各種ひずみ量、周波数(あるいはひずみ速度)に対する応答性のデータの取得を進めてきた。特に、複雑な応力条件下において、発光強度の分布が、延性金属材料の降伏条件として用いられるミーゼス応力の分布と比較的良好一致を示していることを実証し、金属構造部材の破損に繋がる応力の異常な集中を発光強度から検出できる可能性を示した。これを踏まえ、応力異常検出の基礎となる応答性データベース構築の条件を定め、データ蓄積を行なっている。一例として、同一歪み量(ミーゼス応力)までの単純引張/圧縮/せん断条件での発光強度の歪み速度(ミーゼス応力変化速度)依存性について、幅広い歪み速度条件で、応力発光強度は歪み速度のべき乗に比例するという関係があることを見出した(図 4.1.4)。

また、構造物の安全管理に際して非常に重要な、亀裂が存在する場合についても、種々の条件での発光挙動を調べた。疲労により亀裂を生じさせた試験片に応力発光塗膜センサを塗布することにより、肉眼では確認が困難な亀裂の発生箇所およびその大きさを、応力発光画像から可視化することが可能であることを確認した。亀裂存在時は亀裂の先端部に応力集中があり、最も強く発光する(図 4.1.5)。異なる長さの亀裂を持つ試験片からの発光強度を調べた結果、遠方応力と亀裂の長さから算出される、亀裂の関与する破壊現象を支配するパラメータである応力拡大係数と、亀裂先端の応力発光強度が単一の曲線で記述される対応関係にあることを見出した(図 4.1.6)。

全自動発光計測・評価装置

⇒ 構築したデータベース例

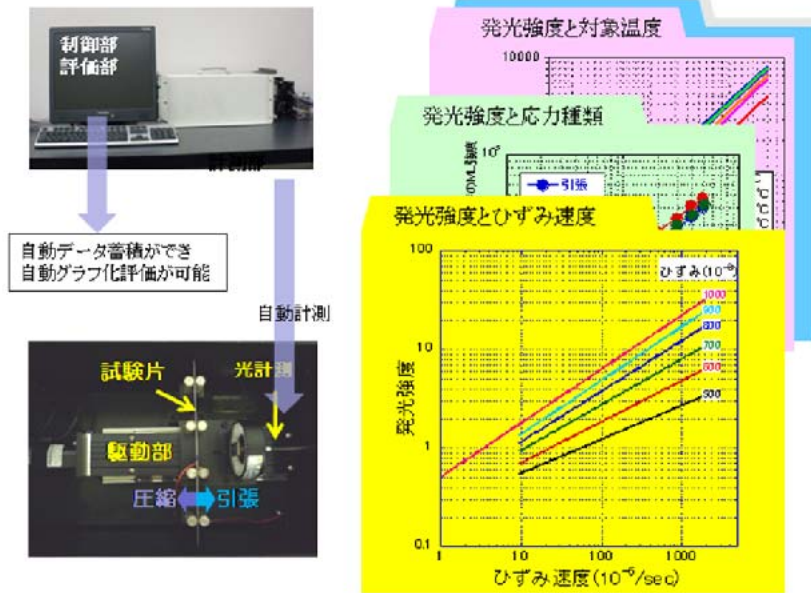


図 4.1.2 全自動リアルタイム応力発光定量化システム。

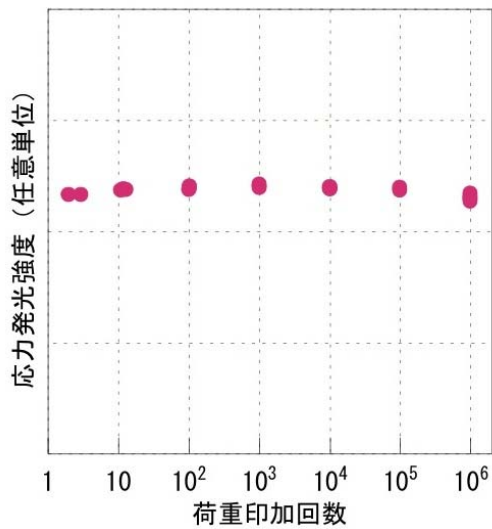


図 4.1.3 応力発光塗膜センサの耐久性。  
(1600  $\mu$  ひずみ繰り返し印加した時)

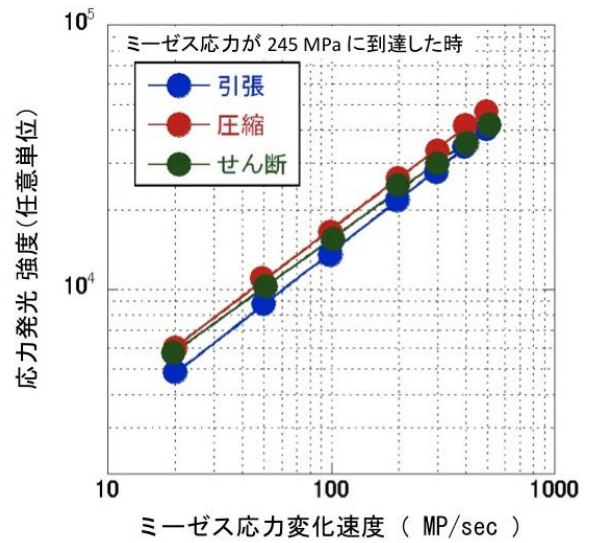


図 4.1.4 応力発光のひずみ速度依存性。  
(ミーゼス応力変化速度依存性)

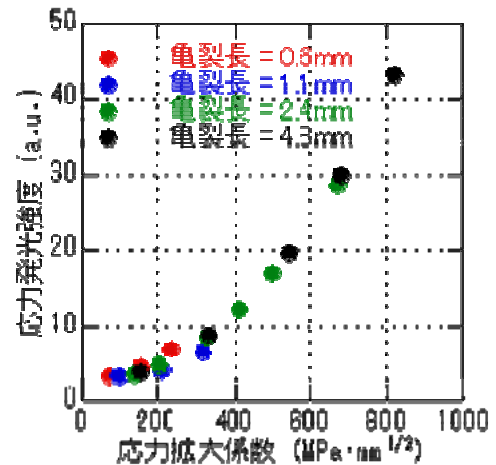
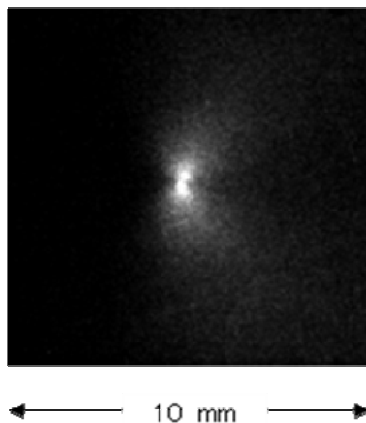


図 4.1.5 亀裂部での応力発光の様子。 図 4.1.6 亀裂先端の発光強度と応力拡大係数の関係。

#### ・リアルタイム応力異常検出システムの構築及び最適化

独自に開発した世界初の構造物の異常を検出する応力発光塗膜センサ、応力発光を計測する有線／無線のセンサノード、リアルタイムに記録・異常診断するソフトを統合し、リアルタイム応力異常検出システムを構築した。センサノードの開発および実構造物における実証試験の結果については後のセクションでまとめて報告する。ここでは異常診断ソフトの検証及び実構造物への適用に応じた異常検出システムの改善、性能向上と最適化について述べる。

開発したシステムは、モニタリングの制御と異常診断が可能なハードとソフトウェアで構成されている。ソフトウェアは、光計測センサノードの制御を行ない、計測した応力画像を取り込みながら応力発光画像を処理し、構造物の安全基準設定した閾値を超える異常画像を自動診断・保存する機能を有する。構築したリアルタイム応力異常検出システムの運用と異常の診断の検証例を図 4.1.7 に示す。健全な金属部材を疲労させた時に疲労亀裂の発生・進展をモニタリングし、システム制御、光計測、異常診断、異常画像保存などの機能が的確に作動することが確認された。リアルタイムのモニタリングと同時に、発光画像による疲労亀裂の発生・進展の自動診断に成功した。

また、実構造物への適用に応じて、集光インタフェースを最適化することにより、開発した無線通信応力異常検出システムの検出感度を大幅に向上させた。図 4.1.8 に示しているように、最適化した集光インタフェースを着装することにより、開発したセンサノードの応力発光検出値が十数倍までにアップした。微弱発光及び微小面積発光の検出感度を向上させ、最初開発した無線通信応力異常検出システムで検出が困難であった微小局部応力異常の検出に成功した。

さらに、作業性を改善するため、照明条件を選定し、応力発光強度に影響しない照明つきリアルタイム応力異常検出システムを実現し、リアルタイム応力異常検出システムの最適化を実現している。図 4.1.9 に選定した照明は応力発光強度に影響しないことを実証している。特定な照明を使用することにより、応力発光を計測しながら、実験の全体的な様子の確認もできるようになった。改善により、安全確認、計測操作などが容易となり、リアルタイム応力異常検出システムの計測環境を大幅に改善した。



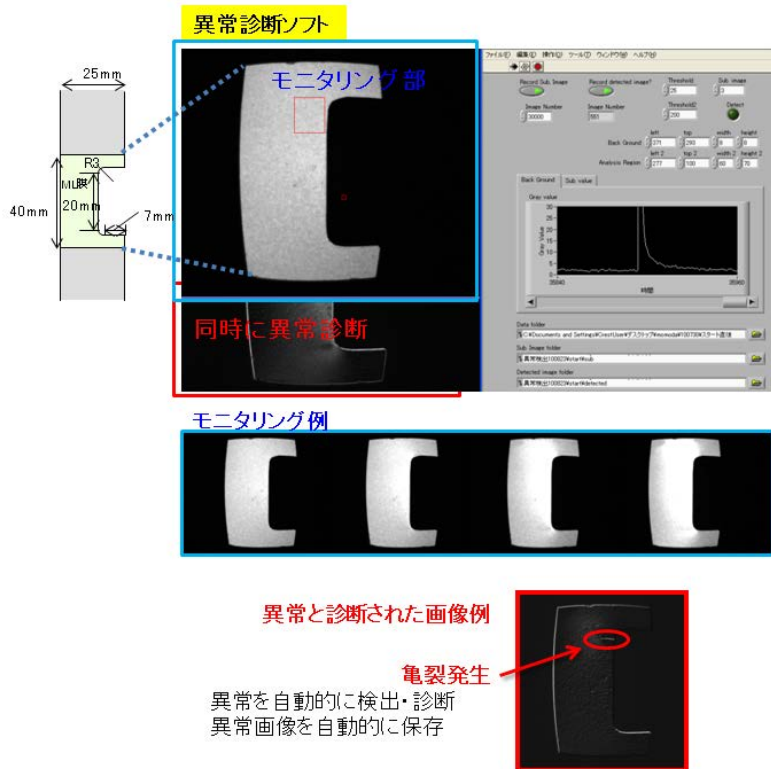


図 4.1.7 異常診断ソフトの検証例。

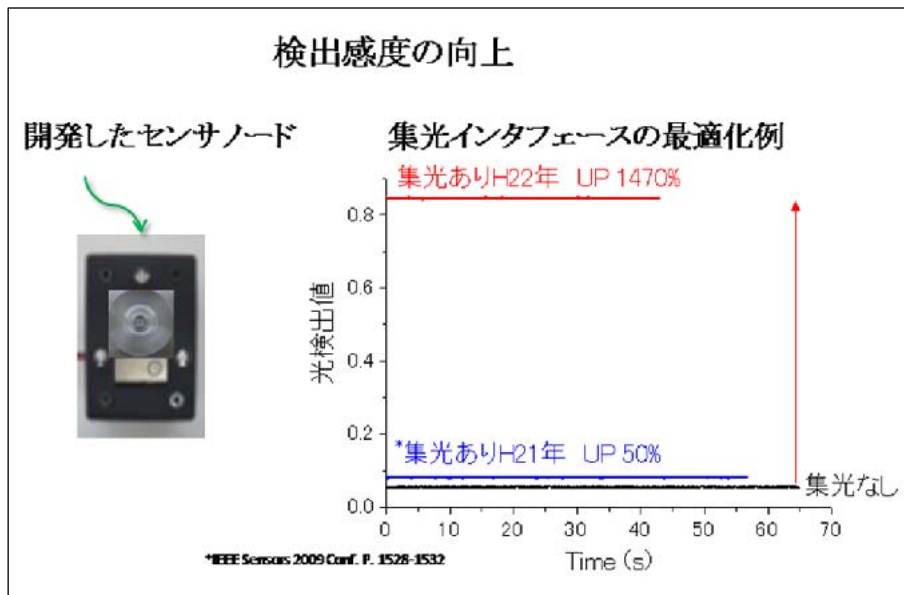


図 4.1.8 集光インターフェースの最適化による開発したセンサノードの検出感度向上。

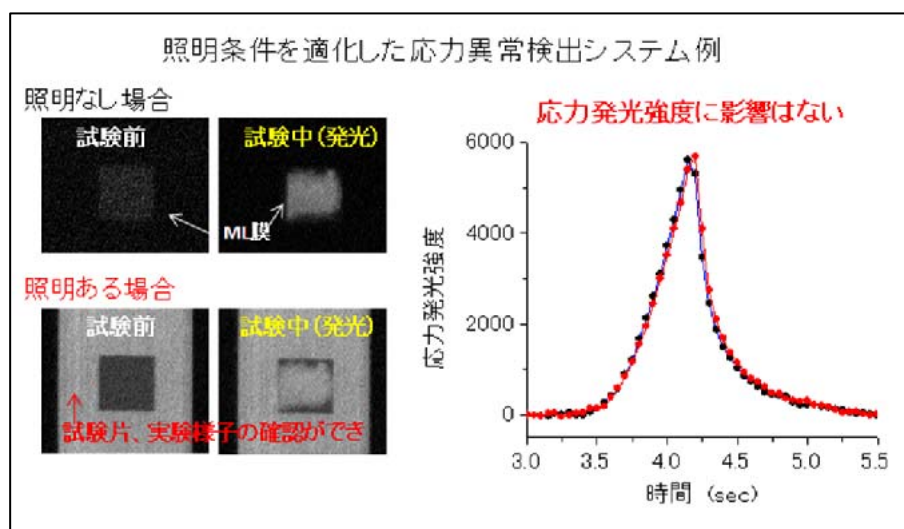


図 4.1.9 照明条件を適化した応力異常検出システムの計測例。

近年、社会資本構造物、産業構造物の老朽化や整備不良による事故が多発しており、事故防止や長寿命化のため、革新的な安全管理技術のニーズが急速に高まっている。現在の非破壊検査技術では、構造物の欠陥と欠陥の危険レベルを同時に検出することが困難である。本研究で開発したリアルタイム応力異常検出システムは、構造物表面に機械的な刺激により発光する応力発光微粒子を含む塗料を塗布することにより、構造物表面に現れない亀裂などの欠陥の発生や存在を、リアルタイムで可視化すると同時に、欠陥の応力場・危険レベルを一目瞭然に可視化することができる。さらに、応力発光塗膜センサの最適化および特性データベースの構築、応力発光を高感度で計測できる有線／無線のセンサノードの開発、システム制御・光計測・異常診断・異常画像保存など多機能にする異常診断ソフトの開発を行なって、リアルタイム応力異常検出システムの統合・運用・改善を踏まえて、より簡便で信頼のおける欠陥や危険レベルの検出ができた。金属構造物、コンクリート構造物(建物、橋梁)の目視できない疲労亀裂や、検出不可能な亀裂先端の応力集中を可視化して、亀裂の発生場所・危険レベルを同時に検知できた。このシステムの応用により、従来の打診検査など検査技術者の経験や勘に大きく依存する問題などの解決が可能となった。

#### (2)研究成果の今後期待される効果

今後は、実証試験の適用化とリアルタイム応力異常検出システムの各要素技術の高度化・最適化を相互のフィードバックにより進め、データベースの累積と発光強度から歪み(応力)レベルを逆算する方法の進化、画像からの異常診断ソフトウェアのアップグレード、異常亀裂発生モードの解明と亀裂進展予測の実現、各種強度検証を行う。

## 4.2 応力履歴記録システムの開発 (AISTグループ)

### (1)研究実施内容及び成果

応力発光を積算的に記録するシステムを構築することで、リアルタイム応力検出システムの情報を補完すると共に、より安価で簡便に応力履歴を記録することが目的である。本システムの応力履歴記録方式は、光記録材料を用いた応力発光の光記録である。従って、第一に、応力発光レベルの発光強度の記録が可能な光記録材料の選定を行った。次に、応力履歴記録システムを構築・最適化を行った。特に、積算記録データとリアルタイム検出データの関連付け、並びに実現場にける利用について、検討を行った。更に、長期積算記録の最大の問題となる安定性・使用性、特に応力発



光のみを抽出し積算記録する方法の開発を行い、最終的には実現場における実証試験において本手法の適応評価を行った。

### ・応力履歴記録方式の確立

あらゆる光記録材料を候補として、必要不可欠な条件である応力発光強度レベルでの光反応性、安定性(暗反応の有無)の観点から検討を行い、銀塩系感光材料(写真感光フィルム技術)、光触媒系感光材料、有機フォトクロミック色素系材料が有効であると結論付けた。選定した3系統の材料に対しては、感度、線形性、利便性(記録と読み出し、不可逆性、記録停止の可能性)、対象物への適用可能性の観点から、より詳細な評価を行った。その結果、何れの系も、照射光量と光記録量に線形性が成り立つことを明らかにした。得られた各光記録材料の特筆した長所を列挙すると、光触媒系は記録光(応力発光)と読み出し光の波長の違いを利用したリアルタイム読み出しが可能であるため、情報ネットワークと連動する危険予知に適していることを見出した。有機フォトクロミック色素系は、記録光(応力発光)とは異なる光による記録情報のリセットが可能であること、更に現場での使用に十分な100°C付近までの熱安定性から、利便性の点で優れたている。一方で、銀塩系感光材料の最大の強みは感度であり、0.033mcd/m<sup>2</sup>程度の極めて微弱な発光も感光記録可能であることを明らかにした(後述するが、橋梁を使用した実証試験での応力発光輝度は17~200mcd/m<sup>2</sup>であり、必要な感度を十分に満たす)。

### ・履歴記録システムの構築と最適化

選定した3系統の応力履歴記録方式の中から、記録感度を重視して、応力発光塗膜センサと銀塩系感光材料の組み合わせによる記録様式を選択し、構築した。システムの実証として、亀裂(先端:幅10~20 μm)を有する試験片に応力発光塗膜センサを塗布し、連続的な引っ張り応力に対する履歴記録を行ったところ、一筋の光記録跡(Y点→Z点:緑線)が観測できた(図4.2.1A)。同時に撮影したCCDカメラ映像との比較より、記録された光は亀裂先端からの応力発光であり、上記の光記録跡は亀裂進展に伴う応力集中の履歴を、応力発光を介して記録したものと確認できた(図4.2.1B)。更に、XY間の応力履歴の記録強度は、CCDカメラのリアルタイム映像から示された各時間での発光強度変化、更には応力拡大係数の変位と一致することが明らかになり(図4.2.1C)、定量的な応力履歴の記録が可能であることを見出した。これは、中間評価時のマイルストーンで定めた「100 μレベルの亀裂検出」を達成している。

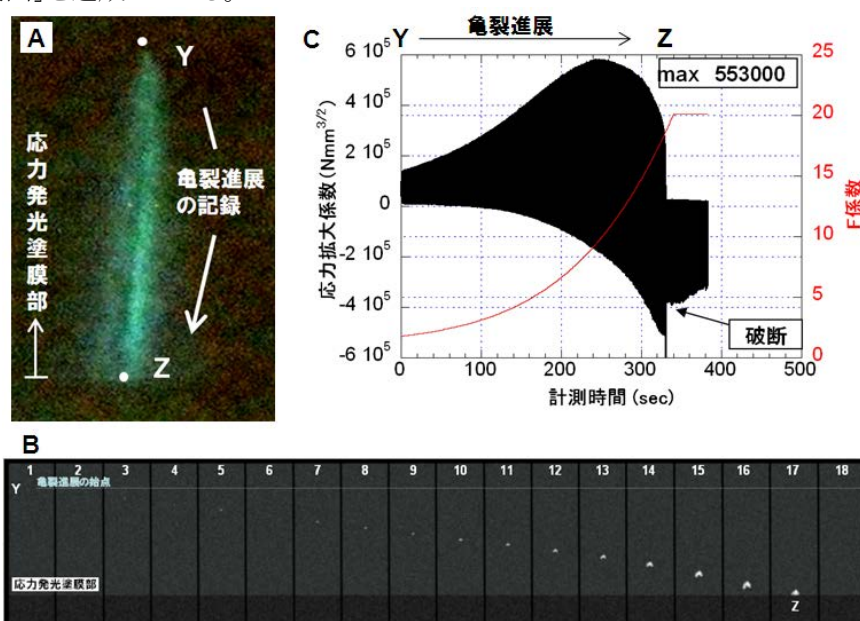


図 4.2.1 (A) 銀塩系感光材料による 100 μ クラックへの応力積算記録。応力印加により、Y 点にあった亀裂先端が Z 点まで進展する様子を、発光を介して記録している。(B) CCD カメラ映像。図 1 A と同時に撮影。(C) 亀裂進展時の応力拡大係数の変位。

更に、安価で簡便な安全管理モニタリングシステムという多くのニーズを考慮し、カメラ等機材を使用しない応力履歴記録システムの開発（応力発光塗膜センサ、銀塩系感光フィルム使用）を行った。先行的に行った橋梁での野外実証試験に投入した結果、応力発光塗膜センサ下部にある亀裂からの発光記録に成功し、実現場レベルにおける応力集中に対しても有効であることを見出した。

#### ・履歴記録システムの最適化：長期記録&閾値記録

システムの基本的な開発成功を受け、現場からの期待・ニーズに立ち返ると、長期的に応力履歴を記録し、定期点検の際、詳細検査・診断・補修すべき場所を示すスクリーニングツールを挙げる事ができる。そこで、特に長期間記録に特化したシステムの最適化を行った。現在使用中の応力発光体は、応力発光性能向上を優先する為、機械的な外力にตอบสนองする応力発光以外にも、微弱ながら残光を有する。従って、積算記録を行う場合、応力とは無関係の残光記録が蓄積し、応力発光の記録（必要な情報）を埋没、ひいては S/N 比の著しい低下を招いていた。そこで、待機時間・熱照射・光照射など、応力発光強度に関連する使用条件を最適化することにより、残光を光記録材料の閾値以下に減少させ、長期間積算記録を行っても残光が記録されない条件を見出した。一方、同じ条件下、荷重印加を行うと、残光より発光輝度の高い応力発光のみが選択的に記録され、S/N 比の著しい向上を達成することができた（図 4.2.2a）。加えて、より積極的に待機時間・熱照射を検討する事で、あるひずみ値以上（現段階では 500  $\mu$ ひずみ以上）に対応する応力発光のみを記録する事に成功し、閾値を備えた記録システムの開発を達成した。



図 4.2.2 (a) 応力発光選択記録実験。積算記録時間：30 分、荷重：14 kN、(b) 選択記録処理をした応力履歴記録システムの実証試験。

#### ・高品質な応力発光シートセンサ作製技術の最適化

本プロジェクトが実証化段階に入り、大量かつ性能均一な応力発光シートセンサが必要となった。現有装置で応力発光センサの作製効率は低く、高性能の保証ができなかった。実証実験に高性能な応力発光センサを供給するため、大量作製技術を開発した。図 4.2.3 に示す印刷装置を導入した（図 4.2.3a）。応力発光材料やマトリックスの組成、センサの構造について種々検討を行い、パラメータの最適化により、応力発光センサの高品質かつ高効率な大量作製技術を確立した。新規開発した応力発光シートセンサの従来品に比べて、発光強度の均一性が大幅に向上した。更に、これらのセンサを橋梁実証現場に使用し、有効性であることを実証した（図 4.2.3c）。



図 4.2.3 (a) 応力発光シートセンサの作成装置。(b) 作成したセンサ。(c) 現場でのシートセンサの利用。

### ・応力発光塗料スプレー缶の最適化

前述した応力発光シートセンサでは平面の対象物への適用は容易であるが、複雑形状からなる構造体に対応可能な応力発光センサ設置手法として、直接スプレー法が容易である。成果として、世界初の高性能応力発光塗料スプレー缶の開発に成功した(図 4.2.4a)。このスプレー塗料は、対象物に高密着する塗膜を簡単に配置できる。新規に開発した応力発光塗料スプレー缶を実証実験に投入し、有用性を検討した(図 4.2.4b)。その結果、従来の応力発光シートセンサでは対応できなかった複雑形状の実構造体に適用できた。また、応力発光性能の劣化がないことが確認されている。実現場において、簡便性・有用性を実証した。

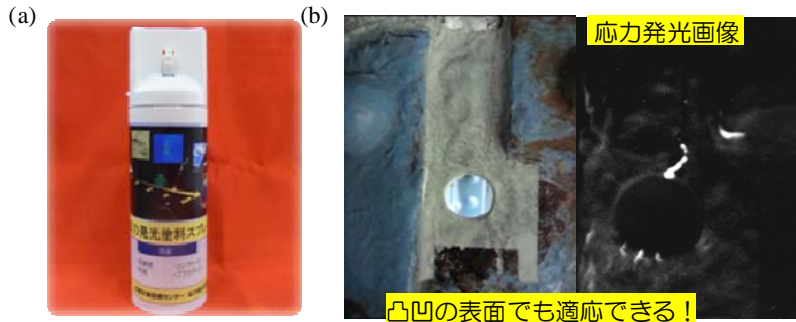


図 4.2.4 (a)応力発光塗料スプレー缶。(b)現場での応用例。

### ・システムの実証

新規に開発し、最適化を行った本履歴記録システムを実環境での適応試験に投入し、有用性を検討した。その結果、日中の温度変化が引き起こす構造物のひずみ・ひび割れの開口変位に由来する応力発光を、約20時間の積算画像の中で選択的に記録できた。更に、後述の東京都江東区の橋梁(砂潮橋、全長 90m、3 径間ゲーター橋)における実証試験では、1カ月(33 日)のモニタリングに使用した結果、鋼板接合部と主桁が交差する領域で記録強度が強くなる結果が得られ、長期モニタリングにも適応できる事を証明した。

### ・まとめ

プロジェクト開始当初は、微小で遅いひずみは応力発光が弱く、検知が難しいと考え、敬遠してきた。それに対して、本プロジェクトでは、積算的な記録を鍵として、応力発光と光記録材料により構成される応力履歴記録システムを開発し、「必要な応力情報のみの記録」、「ある閾値以上の応力情報の記録」等、現場ニーズに特化した最適化を行った。その結果、履歴記録システムの強みを活かす事で従来の短所(小ひずみ・速度への対応)を克服し、実現場でも有用性を証明した。このことから、挑戦的な目標を達成したと自負している。

### (2)研究成果の今後期待される効果

上述の様に、従来の応力発光技術の短所(小ひずみ・速度への対応)を克服した事で、蓄積や劣化と言った構造物の日々の変動に由来する劣化現象のモニタリングへの波及が期待できる。更に、実現場でのモニタリングの現状を調査すると、低予算・人数削減がある一方、安全・安心への要求は高い。危険を発見、診断し、補修等の判断を下すことに効率化が求められる。応力履歴記録システムは、蓄積する応力集中情報を色として残すことから、定期点検時における応力集中のスクリーニング試験として日常段階での使用が期待でき、現に強くニーズがある。一方で、全ての範囲をむらなく検知可能なシステムへの要望も多い。そこで、今回開発したシステムの記録原理を適用した応力履歴記録ペイントを開発することで、より波及効果が高まると考えている。



### 4.3 構造物全体の監視／診断ネットワークシステムの構築(AIST グループ)

#### (1)研究実施内容及び成果

応力発光体によって光として検出された構造物の各種異常を、ネットワークを用いて伝達し、全体の情報を統合する。図 4.3.1 に、開発したシステムの構成を示す。システムは、応力発光のインターフェイスを構成する LAN 側と、遠隔地とのデータの送受信を行う WAN 側で構成される。LAN 側の、応力発光のインターフェイスとなるイメージセンサ・ノード (図 4.3.2) の撮像デバイスには、CCD 素子を搭載した GigE カメラを採用した。信号線としてギガビット・イーサネットを、さらに Power Over Ether (PoE) を用いることで 100m までの距離設定を可能とし、かつ電力線の引き回しを不要としている。センサ・ノードには、青色 LED による励起光源を搭載し、コマンドによって照射時間とタイミングがコントロール可能である。センサ・ノードを接続した LAN 側は完全にクローズドであり、ゲート・ノードとなる PC への画像転送、コマンドの送受信に、全帯域を占有できる。それに対して、遠隔でゲート・ノード PC を制御するコントロール PC とゲート・ノード PC を接続する WAN 側は、その帯域そのものが狭帯域であり、かつ占有できない。実際に、本システムでは WAN 側の第 1 次接続部分に FOMA データ通信網を用いている。したがって、取得したカメラ画像を、すべてコントロール PC へ転送することは現実的ではない。また、電力などの制限のあるゲート・ノード PC 上で、すべての処理を行うのも適さない。よって本システムでは、ゲート・ノード PC 上で何らかの画像のフィルタリング処理を行い、必要な画像のみをコントロール PC へ転送し、そこで詳細に解析を行う方式を採用した。ここで課題となるのは、このゲート・ノード PC 上における画像のフィルタリング処理であり、演算負荷が低く、なおかつ応力発光検出の精度の高い手法が必要である。なお、コントロール PC 上では、ゲート・ノード PC から転送される画像データ中に応力発光が含まれることになるので、様々な手法を用いて精緻に応力発光の解析を行うことができる。

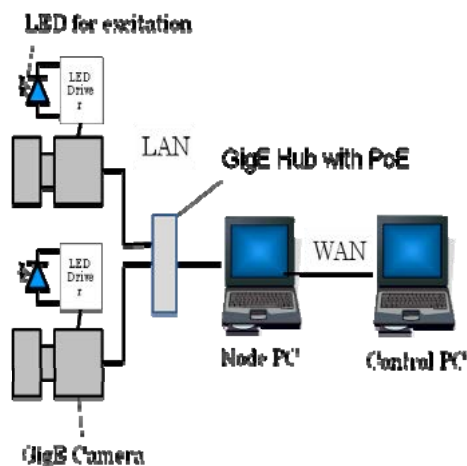


図 4.3.1 システム構成。

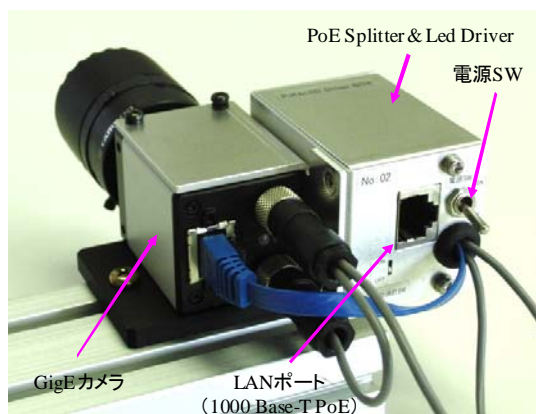


図 4.3.2 イメージセンサノード。

どのように応力発光の検出を行うのか。実験室内で構造物に負荷をかける場合は、ロードセルや歪みゲージによって負荷の状況をモニタリングし、あらかじめ応力発光の発生のタイミングを予測可能である。しかし、供用中の橋梁などの実構造物の場合、負荷のタイミングを設定することは困難であり、構造物の未知なる異常に起因した応力発光の発生は、画像データのみから検出しなければならない。そこで、どのように応力発光パターン発生を検出するのか、大きな課題である。応力発光の特性の一つは、バックグラウンド放射を伴うことである。時系列フレームとして画像データを並べると、輝度値が逡減していくバックグラウンド放射パターンが存在し、構造物上に応力変動が発生すると応力発光パターンがその上に出現する。最も簡易な応力発光発生の検知法は、バックグラウンド放射が常に逡減的であることを利用して、各フレーム画像間で差分画像を生成してバックグラウンド放射パタ

ーンを抑制し、その差分画像の各画素の輝度値が、あらかじめ設定しておいた閾値を超えた場合に応力発光が発生したとする方法である。この場合は、あらかじめ応力発光強度と応力値との相関から、危険な応力値を示す応力発光強度を決定し、それを画素輝度値の閾値とすることができるため、閾値の物理的な意味が分かりやすい。しかし、破壊に至るような応力異常は大きな応力値であり、それによる応力発光強度も非常に強いものとなるが、疲労破壊をもたらすような応力集中は大きくなく、応力発光強度も強いとは限らない。実際の画像では CCD 撮像素子の熱雑音加重されるため、このような応力発光は熱雑音のレベルに埋もれてしまう場合もある。したがって、輝度値の閾値設定では重要な応力発光パターンを検出できない可能性がある。そこで、構造物の応力異常は必ず何らかのパターンを伴い、それによる応力発光も必ずパターンを示すことに注目した。バックグラウンド放射のパターンは、輝度値には変動があるがパターンそのものは時間的に固定であること、それに対して応力発光パターンは、応力変動が発生するとある時刻に発現し、応力変動が停止すると応力発光パターンも消滅する。つまり、応力発光パターンは時間的に変動する。したがって、バックグラウンド放射パターンや熱雑音を含んでも、フレーム間のパターン変化を検出することで応力発光パターンの発生が検出可能であると考えられる。ここでは、輝度値平均を除いたフレーム画像間の、ユークリッド距離、相関係数の時間的変動をパラメータとして用い、応力発光パターンの発生の検出を行った。これらのパラメータは画像処理では初歩的なものであり、 $640 \times 480$  程度の画像でフレームレートが 30fps でも、CPU に Intel Core2Duo 程度の演算能力を有する PC であればリアルタイムで計算可能である。簡単な考察から、バックグラウンド放射パターンや CCD 素子の熱雑音は、これらのパラメータの変動にはほとんど影響がないことがわかる。それに対して、応力発光パターンは、その発生によって、隣接したフレーム画像間のユークリッド距離を増大させ、相関係数を減少させる。したがって、ユークリッド距離の増大と相関係数の減少を、応力発光の発生の検出判定条件とする。一方、ゲート・ノード PC から画像データを受信するコントロール PC では、電力や演算能力などのリソースの制約を考慮する必要がなく、様々な解析手法を用いることができる。ここでは、画像データの解析手法として、よく知られている高次局所自己相関法(HLAC)をツールとして用いてフレーム画像中の応力発光パターンを検出する。HLAC の次数は 2 次とし、各画素ごとに 25 次元特徴ベクトルを計算する。通常のノイズと応力発光パターン箇所では、この特徴ベクトル空間での分布が異なってくるため、閾値を用いたクラスタリングによって判定処理を行う。ノイズの特徴ベクトルの分布する空間は、あらかじめ目視によってノイズであることを確認した画像の部分から求めておく。

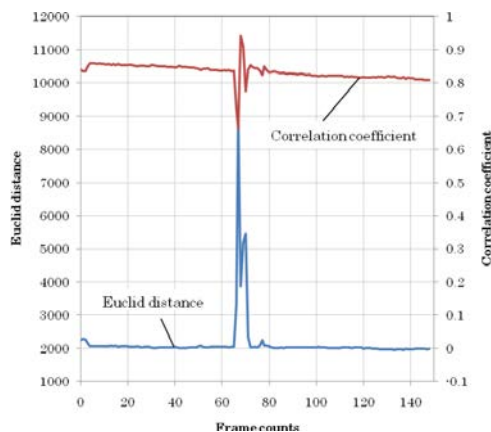


図 4.3.3 パラメータの時間変動。

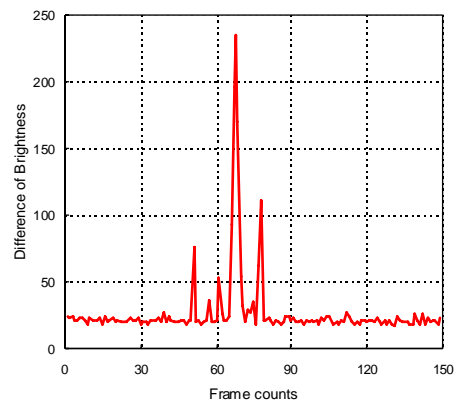


図 4.3.4 最大輝度値の時間変動。

応力発光パターンの発生検出および応力発光パターン検出を、供用中の橋梁において計測した実験データを用いて行った。観測した一連の時系列画像は、画素数が  $640 \times 480$ 、bit 深度は 10bit、フレームレートは 10fps で取得している。実験データから、応力発光パターンが含まれる部分を 150 フレーム抜粋し、各パラメータの計算を行った。図 4.3.3 に各フレーム画像間のユークリッド距離と相

関係数の計算値を示す。第 66 フレームで応力発光パターンが発生すると、ユークリッド距離は大きく増大し、相関係数も大きな減少を示しており、予測していた検出判定条件と一致する。第 66 フレームの応力発光パターンの発生時刻には、橋梁を重量が約 20t と見られるクレーン車が走行した時刻と一致するが、その前後にも普通乗用車などが走行しているため橋梁には負荷がかかっていたはずである。前述したように、応力発光パターンの発生は、フレーム間のユークリッド距離の増大と相関係数の減少で判定される。そこで、これらのパラメータの差分値を計算し、判定条件を満たすフレームをフィルタリングした。ただし、CCD 素子の熱雑音の影響を無視できないため、ユークリッド距離の増大が 20 以上、相関係数の減少が 0.003 以上で閾値を設定し判定を行った。フィルタリングの結果は、図 4.3.4 に示すように第 66 フレーム以外に、フレームカウント 51、55、67、69、70、76、77、138 が条件に該当し、それぞれ微弱な応力発光パターンの発生が確認された。例として、図 4.3.5 に、フレーム No.51 で検出された微弱な応力発光パターンのヒストグラムを平均化した画像を示す。画像中の矢印の先端付近に、線状の応力発光パターンが存在していることがわかる。フィルタリングされたフレーム画像内の応力発光パターン検出を、HLAC を用いて行った結果を図 4.3.6 に示す。応力発光パターンの輝度値は、ノイズレベルと、ほぼ同程度であり、輝度値のみの情報では見過ごしていた矢印先端部付近のパターンを、HLAC では検出できている。この部分は、輝度値がノイズレベルであるが、パターンがクラスタとして発現しているため、単なるノイズ部分との分離が可能である。

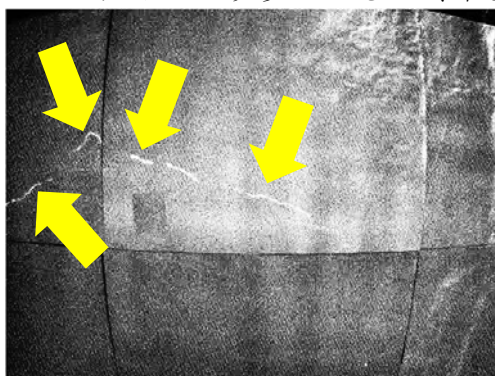


図 4.3.5. 微弱応力発光パターン

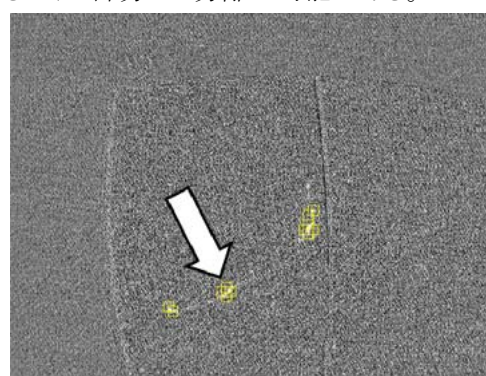


図 4.3.6. HLAC による抽出

## (2)研究成果の今後期待される効果

本サブテーマでは、応力発光センサのシステムとの、比較的ローコストなインターフェイス構築を行い、安全モニタリングシステムとしての可能性を実証した。今後の課題としては、社会実装に向けてのさらなるコスト低減や、アプリケーションごとのシステム最適化などがある。開発されたシステムは、橋梁などの社会基盤構造物を対象としていたが、製品の試作品のような小規模の構造物の解析にも適用可能であり、新たなデザイン手法として、ものづくり現場への展開が期待される。つまり、小規模の応力発光解析システムとして USB インターフェイスの採用など、システムのダウンサイジングも展開の方向としてとらえている。

また、応力発光の時系列画像の解析には、HLAC に限らず、既存の主成分分析や独立成分分析などの画像の統計論的な性質に基づく解析手法を用いることができるが、一般的な画像解析と異なり、応力発光の背景には必ず物理モデルが存在することから、統計論的なモデルと推定される物理モデルを融合させた新たな解析手法の創出が望まれる。逆に、そのような手法を確立させれば、画像解析に新たな分野を形成することが期待される。

## 4.4 異常診断ソリューション(KYUDAIグループ)

### (1)研究実施内容及び成果

実験及び数値解析を用い、応力発光塗膜からの発光の周波数・歪依存性のデータベース化と、複雑な形状を有する対象物の応力分布の数値解析を基盤として、複数の画像センサから得られる



データを元に高信頼性な応力分布データを再構成するシステムを開発した。応力発光センサデバイスの出力と複雑な応力分布との定量的な対応関係を解析するためには、応力発光データから、構造診断に必要なデータを適切に抽出することが必要である。特に、応力成分と応力発光、歪エネルギーと発光の関係の数値解明、データ解析を基にした応力異常逆問題解析、疲労亀裂先端における発光特性の解析・評価による破壊予知への応用などをおこなった。また、実在の構造物に関する実証試験及び数値解析を行い、応力発光塗膜センサの信頼性の向上と実用性を図った。

応力発光塗膜からの発光の周波数・歪速度依存性、温度の影響を調べ、そのデータベースを構築した。更に、円孔や亀裂のある試験片の計測実験および応力分布の数値解析を基にして、応力発光センサから得られるデータの信頼性を検証した。その成果を国際会議と学会誌にて発表した。

データベースに基づいた、応力発光センサデバイスの出力と複雑な応力分布との定量的な対応関係を解析する簡易解析方法を開発し、測定した応力発光強度と現象の発生時間 $\Delta t$ から、逆解析で相当ひずみ、または相当応力が求められることになった。

応力発光センサを用いた東京都江東区砂潮橋の実証試験に参加し、応力発光センサによる橋のコンクリート梁の亀裂の検出の有効性及び応力発光センサの信頼性を実証した。

き裂やノッチを有する複雑な形状を有する試験片の応力分布の数値解析および応力発光塗膜センサによる実験を行い、応力発光センサだけの情報から、構造物の損傷を診断できることを実証した。その結果を11月の国際フォーラムで報告する予定である。

## (2) 研究成果の今後期待される効果

本研究グループの研究成果から、従来の様々の構造物安全診断センサシステムや計測方法に比べ、応力発光材料で作製した応力発光センサは、計測装置及び計測方法が簡単で、大面積の情報を実時間で同時に得られるので、橋、パイプシステム、建物など広い分野での構造物の安全診断に利用されることが期待される。

## 4.5 通信ネットワークの開発(「LP」グループ)

### (1) 研究実施内容及び成果

構造物の異常状態を監視/診断するシステムにおいて、情報の検出、伝達のためのセンサネットワークを構築した。

応力発光情報の検出、伝達のための無線センサネットワークを開発した例を図 4.5.1 に示す。応力発光の検出および伝送のための機器として、無線光検出ノード、中継器、親機を開発し、無線通信方式としては、ノード間の通信に ZigBee を採用、広域ネットワークとの接続部には FOMA を採用した。特に、無線光検出ノードは小型化に注力した。



図 4.5.1 開発した無線ネットワーク機器。

また、開発した無線ネットワークの構成を図 4.5.2 に示す。無線光検出ノードと親機間は、同期信号によるタイミング調整機能により、親機 1 台に対し同時に 8 台の無線検出ノードの接続を可能とした。無線光検出ノードと親機間の距離が離れている場合には、中継器により無線伝送の距離を延ば

すことができる。応力発光データの取得や機器のコントロールは、FOMAとインターネット網を通して遠隔地からリアルタイムで行うことができる。

実証試験では4台の無線光検出ノードを使用し約10日間の連続運転を行い、東京の橋梁をモニタリングし、遠隔地の産総研やロジカルプロダクトにて応力発光をとらえる事に成功した。

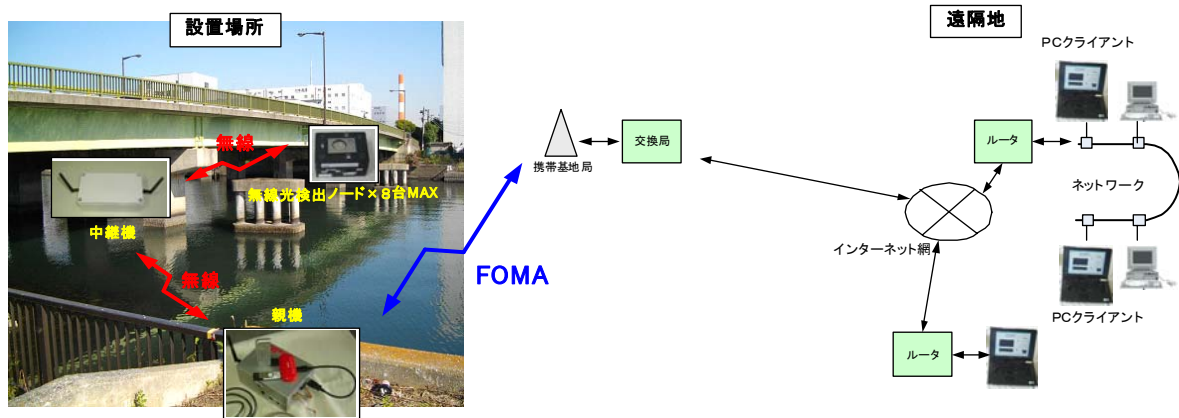


図 4.5.2 無線ネットワークの概略。

さらに、無線光検出ノードのノイズ対策の強化として下記対策を行い、弱い応力発光の検出を可能とした (図 4.5.3)。

- ・ 光検出窓に導電性透明フィルムを使用
- ・ フォトセンサのシールド性の強化
- ・ センサに電源供給を行う AC アダプタに絶縁型 DC/DC コンバータを挿入 (AC100Vラインやケーブルからのノイズを除去)

図 4.5.4 はコンクリート構造物表面にあるひび割れに塗布した応力発光センサの発光を計測する無線光検出ノードを示し、ひび割れの数マイクロ開口変位による微弱発光を検出できることが確認された。

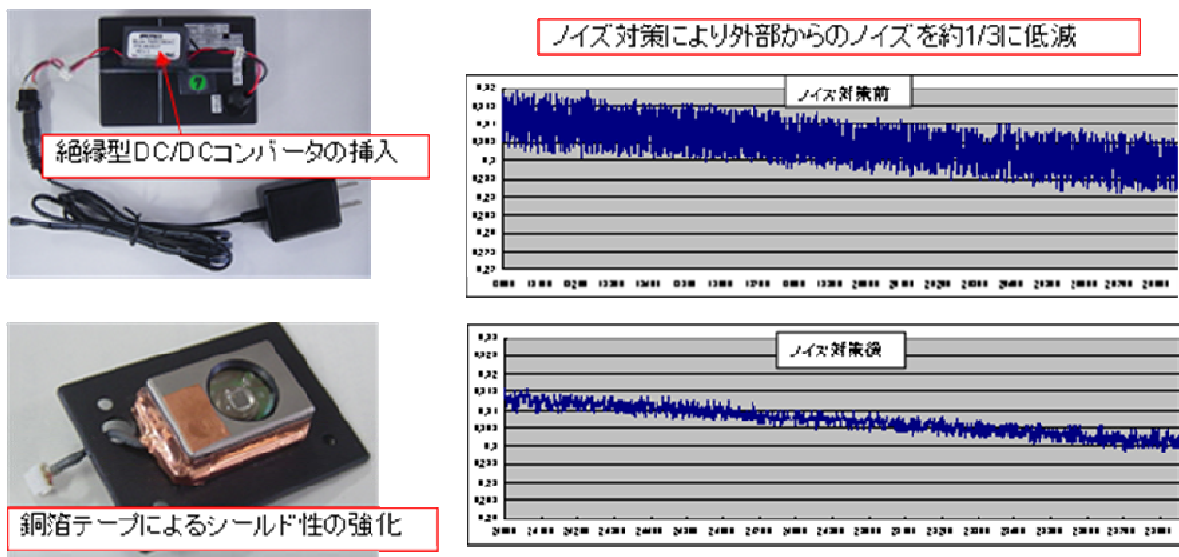


図 4.5.3 無線光検出ノードのノイズ対策の強化。



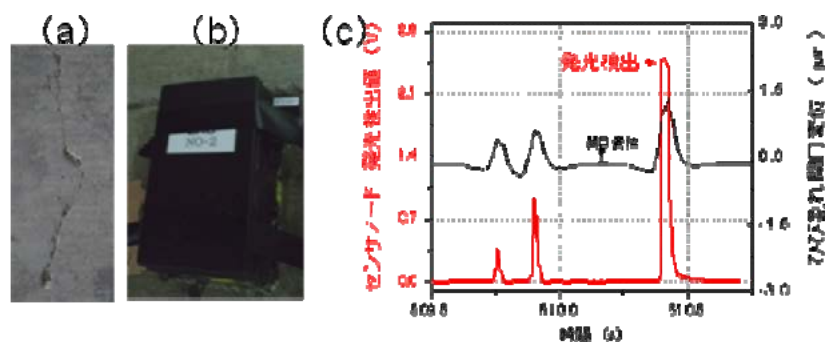


図 4.5.4 無線光検出ノードの検出例。(a)コンクリート表面のひび割れ。(b)塗布した応力発光センサの発光を計測する無線検出ノード。(c)数マイクロ開口変位による微弱発光の検出。

## (2)研究成果の今後期待される効果

本無線センサネットワークにより、カメラを利用しない簡便な機器による遠隔地での応力発光の検出が可能となった。また、近くにパソコンを設置できる環境があれば、無線光検出ノードとパソコン間を無線伝送することにより更に簡便なシステムが構築できる。無線光検出ノードではカメラのように応力発光の面的な分析はできないものの、設置作業が大幅に簡素化できるので、応力発光体の適用対象が大きく広がることが期待できる。

## 4.6 実構造物での実証実験と最適化(TAISEI, KYUDAI, AIST 各グループ協同)

### ・研究実施概要

開発してきた各システムが実構造物にかかる歪の検出に有効であり、これらを統合したネットワークシステムが危険予知による安全管理に対して有効な手段であることを実証する。また、実証実験結果から課題を抽出して、分析・解決していくことにより、システムとしての最適化を図っていく。

実構造物の選定は、200 件以上の連携要望の技術相談に対し、社会ニーズの高く、かつ本研究成果の威力を生かせるものを選定した。特に、道路橋梁、建物、配管、生産設備、製品の安全管理について、チーム内の各グループの協同研究だけでなく、外部ユーザと共同連携して実証試験を加速させた。

実施した橋梁数 3 本(東京、大阪、福岡)、建物3棟(佐賀)、コンクリート構造体(神奈川)、配管系は溶接配管、直管系、高温系(東海村)、高压容器は鋼製容器と複合容器の2種類(福岡)、および生産設備や製品検査を加え、20件以上の実証試験を行った。

### 4.6.1 実構造物での実証試験—橋梁の実証実験と最適化

#### (1)研究実施内容及び成果

##### ・供用中コンクリート橋梁のモニタリング

橋梁のように繰り返し荷重を受ける構造物において、異常箇所の検出及び監視は橋梁の安全管理における重要な課題となっている。福岡県の朝倉県土整備事務所の協力を得て管内の橋梁(築 50 年、朝日橋)において実験を行った。応力発光体を塗布したシートを橋桁コンクリートのひび割れ部に貼り付け、車両通過時の応力発光の検出を行った。その結果、大型車両通行時のような大負荷時において応力発光の検出に成功した。また、目視で確認できるひび割れ部の応力発光の他に目視では確認できない箇所でも応力発光を検出でき、マイクロクラックの

存在を応力発光により確認できることがわかった。なお、実験期間中の2ヶ月間に応力発光体シートの劣化は見られなかった。

特筆すべき結果として、目視では亀裂が確認できなかった場所でも応力発光を確認し、亀裂の進展に繋がる応力集中を見抜くことに成功した。このことは、“見えない危険な応力集中を見抜く！”という応力発光体を用いた安全管理システムの最大の特徴が、実現現場レベルにおいても有効であることを明確に示唆している。更に、本安全管理ネットワークシステム実証では、輝度17mcd/m<sup>2</sup>以上の応力発光を仮想的な応力異常として抽出し、有線・無線のネットワークシステムを使用して危険信号を発信することに成功した。

#### ・橋梁の損傷検査の実証試験

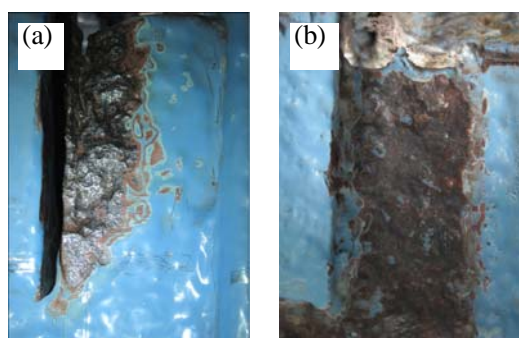


図 4.6.1.1 橋桁金属部計測箇所：  
(a) 亀裂存在部、(b) 金属腐食部

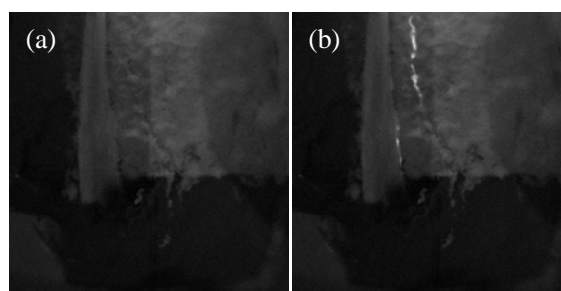


図 4.6.1.2 亀裂存在部応力発光画像：  
(a) トラック通過直前、(b) トラック通過中

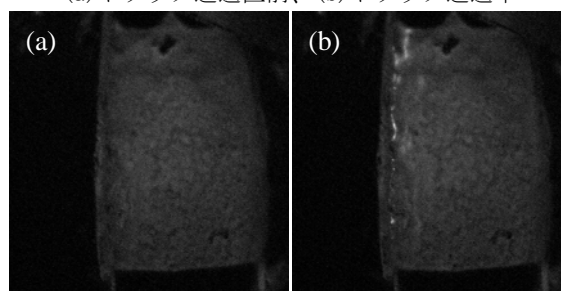


図 4.6.1.3 金属腐食部応力発光画像：  
(a) トラック通過直前、(b) トラック通過中

実橋梁を用いた損傷検査実証試験を実施した。本実証試験では、検査会社等の要請を受け、鳥飼大橋(大阪)に対して共同で行った。橋桁金属部及びコンクリート床版に応力発光センサを塗布し、発生した亀裂の可視化及びその探傷を行った。図 4.6.1.1 に示すように、橋桁金属部に生じた亀裂や金属腐食部に対し、スプレー法を用いて応力発光センサを塗布した。25t トラックによる載荷試験を実施し、荷重を受けた際の応力発光を開発したセンサシステムを用いて可視化計測を行った。リアルタイム計測された応力発光画像(図 4.6.1.2-3)より、トラックの通過に伴い、応力発光が生じていることが確認された。亀裂部では亀裂に沿った応力発光が可視化計測された(図 4.6.1.2(b))。金属腐食部では、亀裂の存在は確認されていなかったが、亀裂の存在を予知する応力発光画像が得られた(図 4.6.1.3(b))。さらに、金属腐食部では、その他の腐食部において周囲よりも高い応力発光強度が得られたことから、亀裂探傷のみならず**金属の腐食状態も応力発光センサにより可視化計測可能であることが示された**。同時計測したひずみゲージの計測結果と時刻歴データについて比較したところ、応力発光強度の時間変動とひずみゲージ計測結果の時間変動は定性的に一致していた。従来、ひずみゲージを用いた計測は点計測であるため面的に計測する場合、多数のひずみゲージを必要とする。しかし応力発光センサを用いることにより、計測対象を面的に計測することができる。さらにひずみゲージと同等のひずみ検出感度を有することから、ひずみゲージに代わる新たな計測法であることが実証できた。

以上のように、橋梁の橋桁金属部において、応力発光センサを用いた面計測により、亀裂探傷の

みならず金属腐食部の応力分布を可視化計測することができ、ひずみゲージに代わる新たな面計測法であることが実証された。

#### ・橋梁の長期遠隔モニタリング

東京都江東区の協力を得て砂潮橋(東京)を2010年と2011年に渡って、センサを連続設置したまま、開発したシステムによる長期間遠隔モニタリング(九州からの遠隔制御)を実施した。

砂潮橋の遠隔モニタリング実験はそれぞれ約1ヶ月であり、その間、車両通過で生じる荷重・開口変位由来の応力発光を検出でき、その様子を産総研(佐賀県鳥栖市)からモニタリングすることができた。また、前年度実験から約半年が経過していたが、実環境使用下で応力発光シートの劣化もないことを確認できた。なお、平成23年3月に東日本大震災が発生し、砂潮橋のある江東区でも震度5強を観測したが、今年度の計測結果からは地震の影響を受けているようなデータは認められなかった。

橋梁裏のコンクリート床版の亀裂の可視化計測、及び遠隔地からのリアルタイムモニタリング例を示す。図4.6.1.4中の緑枠は6ヶ月間敷設された応力発光シートを示し、赤枠は6ヵ月後の再計測の際に新設された応力発光シートを示している。なお、新設した応力発光シートは6ヶ月前に敷設したシートと全く同一のものである。計測画像から亀裂上の応力発光が可視化計測されていることが確認できる。図中の緑枠内を比較したところ、同一箇所が強く発光していることから、発光分布パターンは6ヶ月経過前後で同様であることが確認された。また、新たな発光分布パターンが検出されなかったことから、亀裂の進展や力学バランスの変化による亀裂開口状態の変化がなかったと推測される。以上から、本実験により、橋梁のコンクリート床版における亀裂を応力発光センサにより可視化することができ、長期耐久性も有していることが実証された。

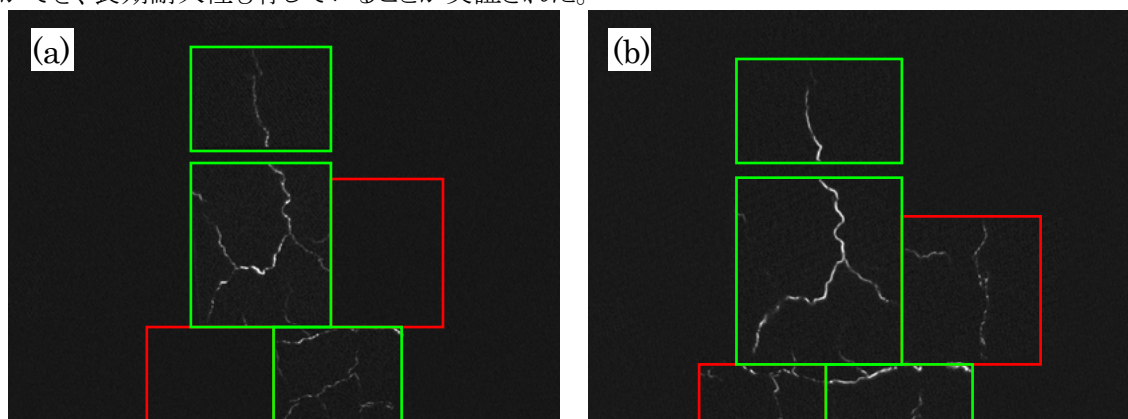


図 4.6.1.4 コンクリート床版応力発光画像(積分・規格化画像) :

(a)2010年11月計測。

(b)2011年6月計測。

#### (2)研究成果の今後期待される効果

戦後の高度経済成長期に整備された橋梁などの社会資本の多くは今後10~20年の間に耐用年数を迎える。昨今の経済状況から新規建設よりも長寿命化が求められている。これらの解決策として、構造物の破壊につながる危険を早期に発見する科学技術が急速に必要とされている。従来の力学計測においてはひずみゲージが多く使用されていた。しかし、点計測であるひずみゲージでは微小亀裂などを発見するとは困難であり、面的に計測するためには多くのひずみゲージが必要となる。応力発光センサを用いることにより、計測対象の挙動を面的に計測することができるため、目視では確認困難な微小亀裂の発見や亀裂進展の様子など捉えることができる。そのため、従来の点計測に代わる新たな診断法として期待できる。

実橋梁での実験により、ひび割れの発生・開口・進展を応力発光体により面的に追跡できるという大きな特長を確認でき、応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの実構造物への適用性を検証できた。実用化へ向けた応力発光体の長期耐久性などまだ引き続き検証が必要であるが、今後はひび割れ挙動の面的な計測の実務に適用されていくものと期待し



ている。

#### 4.6.2 建物の実証試験と最適化

##### (1) 研究実施内容及び成果

モニタリング対象はニーズ調査の中で多くの回答が得られた近接施工、劣化、亀裂進展に絞り、適応試験を行った。

##### ・近接施工の応力発光モニタリング

本試験では、ストーンテーブルの研り(はつり)撤去によって使用中の建物が受けた影響を評価した(図4.6.2.1)。撤去する石台の近傍にある亀裂に沿って応力発光センサ(シート、スプレー膜)を配置した(図4.6.2.1c)。記録はリアルタイム計測用 CCD カメラシステム、応力履歴記録システム(銀塩系感光材料、カメラ使用)を設置し、工事前から工事中、工事後と連続的に計測を行った。その結果、何れの計測システムでも、施工の振動(参照用に配置した振動計の信号)の大きさに比例した発光パターンを、亀裂の位置に沿って繰り返し検出することに成功した。(図4.6.2.1dは CCD で記録した映像。亀裂周辺の歪量:  $3\mu\text{ST}$ 、応力発光輝度値:  $20\text{mcd}/\text{m}^2$ )。また、発光量から亀裂の開口変位量を換算すると、最大約  $1\mu\text{m}$ 、ひずみ速度約  $105\mu\text{ST}/\text{sec}$  程度であることが分かった。以上より、工事現場で発生するレベルの変位や歪に対する検知システムとして、有効であることを初めて実証した。

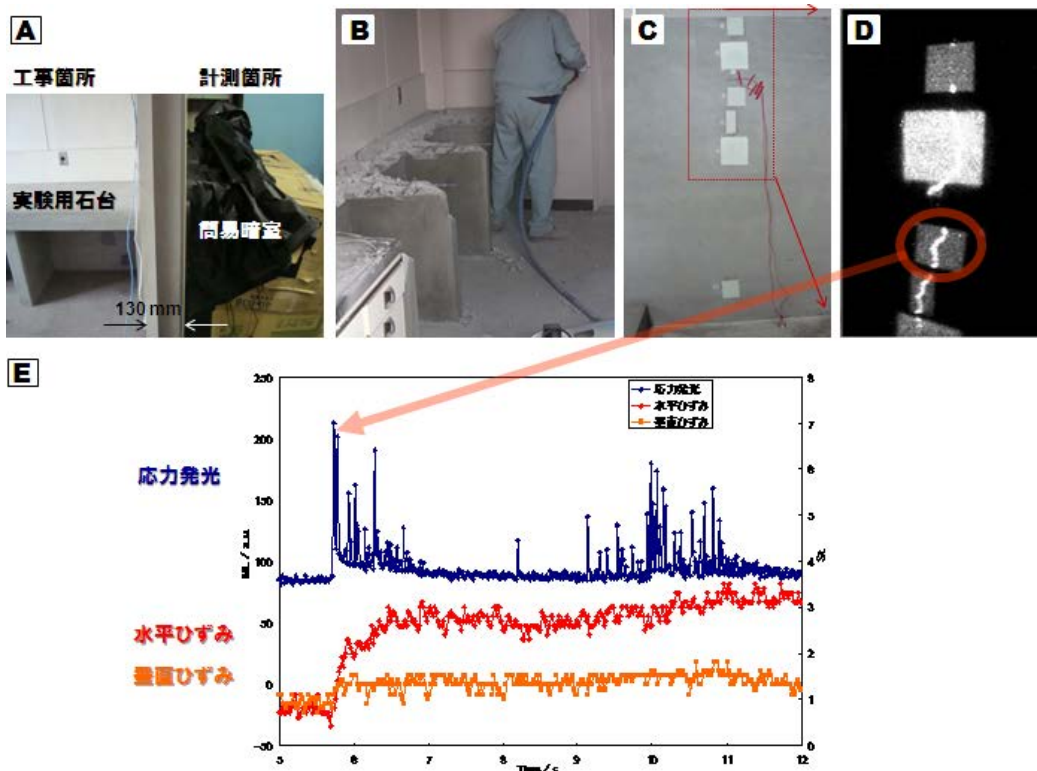


図 4.6.2.1 近接施工の応力発光モニタリング。(A) 工事箇所の断面写真。(B) 工事の様子。(C) 応力発光センサ、並びに参照用ひずみゲージの設置写真。(D) 応力発光像。(E) 亀裂部分の発光と水平・垂直ひずみ(亀裂周辺)変化の相関。

### ・劣化の応力発光モニタリング

近接施工や地震の際に建物に加わる大きな負荷とは対照的に、劣化は非常に微小でゆっくりとした変動現象である。本モニタリングシステムの劣化検査例では、図 4.6.2.2C に示すように、微小な亀裂が気温の変化とともにごくわずかに開口変位し、1 日の最大変化時でも、速度は  $10^{-3}$   $\mu\text{ST}/\text{sec}$  以下、変位量  $0.1 \mu\text{m}$  ( $100 \text{ nm}$ ) 以下(長さ  $2 \text{ mm}$  のひずみゲージの場合は最大  $50 \mu\text{ST}$  の変化に相当)の微小ひずみ・速度を対象としてモニタリングを行った。その結果、周辺の気温が変化し、それに伴って発生する亀裂の開口変位に由来する応力発光パターンを、亀裂に沿った位置で検知する事に成功した。また実証試験期間(屋内、6ヶ月経過)中、更に2年経過しても、応力発光塗膜センサには劣化がないことを確認した。

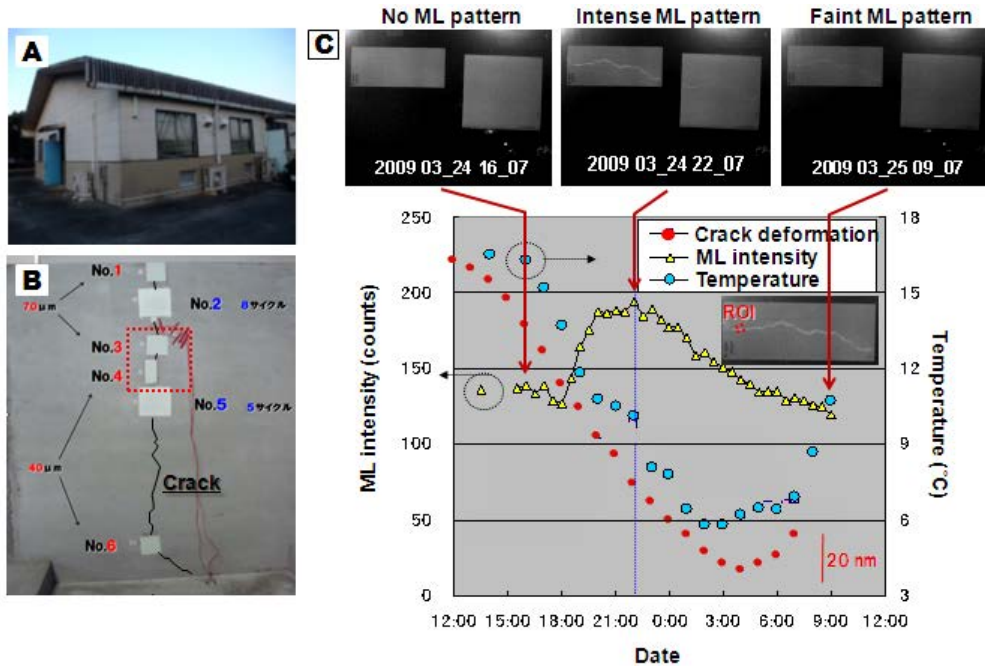


図 4.6.2.2 劣化の応力発光モニタリング。(A) モニタリングに使用した構造物の全景。(B) 応力発光センサ、並びに参照用ひずみゲージの設置写真。(C) 応力発光像、並びに応力発光強度・亀裂の開口変位・温度の相関。記録条件：30 分積算記録。

### ・亀裂進展の応力発光モニタリング

本試験は、建物内構造壁(荷重を支える壁)面にある扉のはつり撤去作業を対象に行った(図 4.6.2.3A)。モニタリング箇所は実際に施工業者から聞き取りを行い、周辺で構造上弱いと思われる扉の角部(図 4.6.2.3B、工事箇所との距離  $3 \text{ m}$ )を選定した。この箇所は塗料で覆われたものの、塗料の下には亀裂が確認できた為、応力発光センサを壁塗料の上から塗布し、周辺に簡易的な暗室を作製し、CCD カメラを用いて積算記録を行った(図 4.6.2.3C)。結果、工事前3日間は、劣化の項で紹介した結果同様、ひび割れの開口変位(ひずみゲージで参照計測)に由来する応力発光パターンを検知した(図 4.6.2.3D 左図の矢印)。一方、はつり工事の翌日、新たな発光パターンが検出され、更にこの最も強く発光する発光点が2~3時間かけて左に移動した事が分かった(図 4.6.2.3d 中央図、右図の矢印)。実写真と応力発光画像との合成画像(図 4.6.2.3E)を基に発光点が移動した軌跡を検討すると、扉と構造壁の境界線と一致する事が分かり、実際に現場を確認した所、同様の位置に新たな亀裂の発生を確認した。更に工事前後での発光パターンの変化(ひび割れの位置から右下の発光点に変化)は、周辺の構造壁にかかる力学バランスの変化を推察できる。これらは本システムが2次元的な面情報を計測できる事に由来する結果である。以上より、本システムは工事の影響の抽出と亀裂の進展モニタリングに有効と言える。

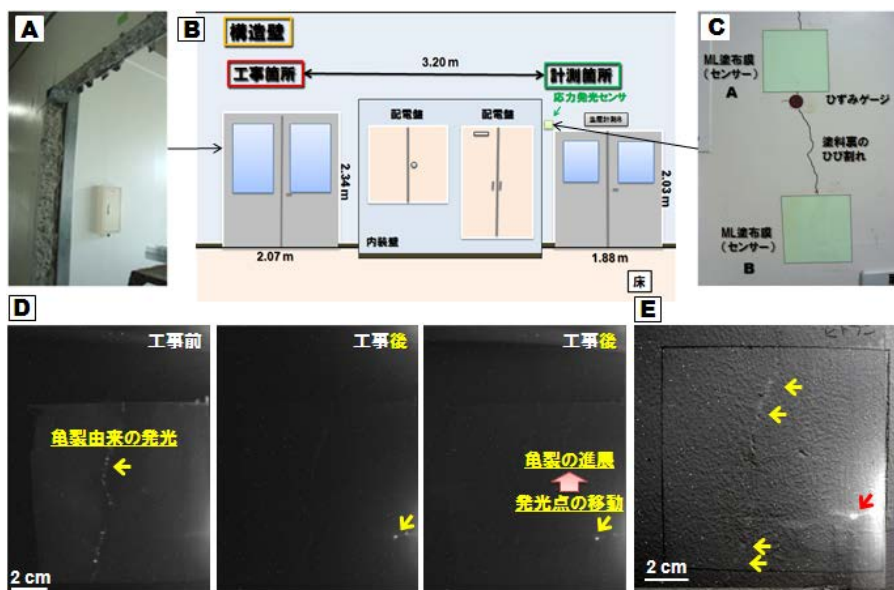


図 4.6.2.3 亀裂進展の応力発光モニタリング。(A) はつり撤去後の写真。(B) 工事・計測箇所の模式図。(C) 応力発光センサ、並びに参照用ひずみゲージの設置写真。(D) 工事前と工事後の応力発光像。2枚の工事後の応力発光像から、発光点の移動が確認できる。(E) 応力発光像と実写真の合成画像。

## (2)研究成果の今後期待される効果

プロジェクト以前は単なる可能性であった実現場の応力ひずみモニタリングを実際に可能であることを示し、更に亀裂進展や力学バランスの変動等、従来の点センサでは困難であった面的な変化の情報が得られた事は特筆すべき成果である。また現場適応に関する成果を得た事で、プレス発表、展示会、学会発表を通して、ユーザー候補と言うべき現場の方々の反響、問い合わせを多く頂いた事も、今後のモニタリング、非破壊検査への波及を強く予感させる。特に、近接施工モニタリングは影響に伴う補償時の証拠として、劣化・亀裂進展では安全管理のツールとして期待する声を多く頂いた。印象的なユーザー候補の声として、「ひずみゲージと同じ感度でありながら、ユーザーフレンドリー」との評価がある。今後ますます経費や人員を削減されながらも効率化や高信頼が求められるモニタリング・非破壊検査業界、建設業界に対して、本システムがモニタリングツールとして波及する事を強く期待される反響と考えている。

## 4.6.3 配管系の実証試験と最適化

配管系では、①直管系、②溶接配管系、③高温流体の配管系の実証試験を行い、パイプの内側にある欠陥の検出から、原子力配管に用いられる溶接部の疲労亀裂検出まで、開発した応力発光システムの有用性と最適化を行った。

### ・配管の減肉個所とその危険レベルの可視化

#### (1)実施内容及び研究成果

予測が困難な配管の内壁に発生した、減肉箇所や脆弱部位を包括的に検出できるかを検証する実証実験を行った。応力発光塗膜センサを試作したプロトタイプ配管に適用し、配管の危険箇所の検知およびその危険レベルの把握に対して有効性を実証する。管内に深さの異なる内部欠陥を設けた配管を試作し、応力発光塗膜センサを配管表面に適用した。特に、配管表面の応力発光強度と欠陥の深さ(危険レベル)との関係性について検証を行った。

表面に応力発光塗膜センサを貼り付けた配管に深さ( $d=0\sim 2.0\text{mm}$ )の欠陥を設け(図 4.6.3.1a)、実際のプラントで見られる水撃現象を模擬して配管内圧を上昇させた場合の応力発光と内部欠陥との関連性について調査した。その結果、配管内部に欠陥がある場合、応力発光強度には分布が生



じ、この分布から欠陥箇所の特定が可能であることを確認した。さらに、応力集中箇所における応力発光強度( $x \sim 5\text{mm}$ )は、欠陥深さが深くなるにつれて大きくなることを明らかにし(図 4.6.3.1d)、応力発光強度から配管の危険レベルの推定が可能であることを示した。

(2) 研究成果の今後期待される効果

このように、本試験では表面からは見えない配管内欠陥の可視化に成功し、その危険レベルの推定、危険予知への可能性について示した。これから、表面からは見えない配管内部の欠陥・減肉を検出し、危険レベルを特定でき、配管の減肉等による事故の防止に役立つことが期待できる。

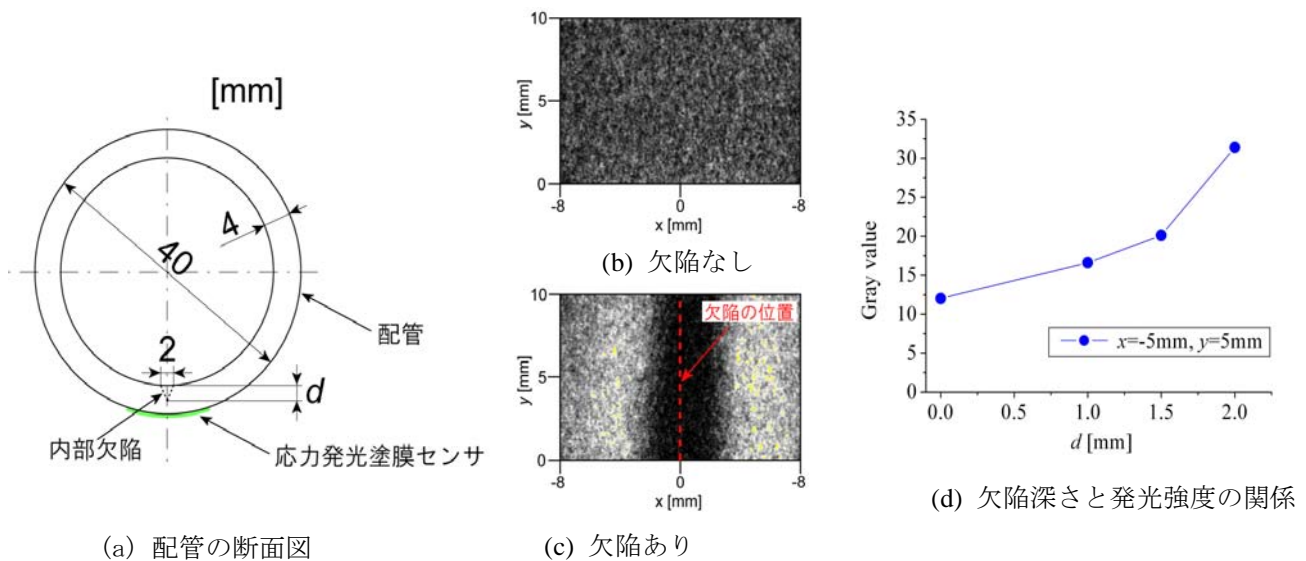


図 4.6.3.1 配管表面の発光分布

・高温配管系の熱応力可視化の実証試験

本実証試験は【日本原子力研究開発機構】の協力を得て実施した。

高温配管は原子力施設をはじめ、工場や発電所などで多く使われ、その安全管理は緊急な課題である。一方、応力発光センサの発光特性は、応力発光体の特性のみならず、そのマトリクス材の化学的、機械的、光学特性に大きく依存する。通常の応力発光センサでは、応力発光セラミックス粒子とエポキシ樹脂とのハイブリッド塗膜であり、環境温度が  $60^\circ\text{C}$  以上になるとエポキシ樹脂の機械性能の変化に伴い、応力発光センサの感度が低下する問題がある。そこで、高温下の応力発光センサ感度の向上を目指し、応力発光材料を選定したガラスバインダに混練させ、高温用の応力発光センサを作り出すことに成功した。

この高温タイプの塗膜センサを高温パイプ配管に適用し、その結果、得られた応力発光画像より、熱応力分布の検出に成功した(図 4.6.3.2)。

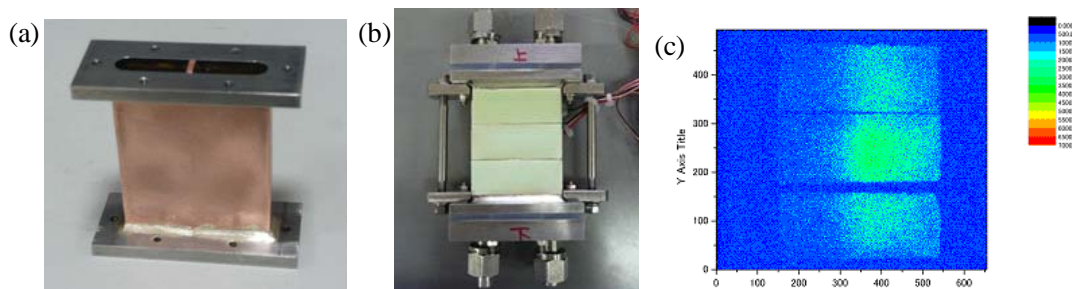


図 4.6.3.2 (a)高温型応力発光センサを配置する前のパイプ、(b)配管ラインに配置した後、(c)応力発光画像で検出した熱応力分布の様子。

## ・溶接配管の疲労寿命の実証試験

### (1)研究実施内容及び成果

原子力施設で汎用されている配管系を対象に、従来技術で計測困難の溶接部位の破壊予知への有効性を検証した。溶接部位は凹凸しており、シート型センサの適用が困難のため、開発してきた応力発光塗料をスプレー法で塗布し、疲労き裂を可視化および応力発光強度とき裂進展速度の相関関係があることを検証した。

本試験は内径 27.2mm、肉厚 3.9mm、長さが 200mm および 800mm の小口径管を T 字継ぎ手にソケット溶接したものを試験配管として用い、溶接部の表面に応力発光材料を塗布した(図 4.6.3.3)。加振機により試験配管を共振させ、溶接部に荷重を負荷した。

その結果、図 4.6.3.4 のように疲労回数  $N=53280$  において溶接部の中央付近に応力発光領域が観測され、 $N=558000$  においては約 4mm 程度に達した。応力発光領域は  $N$  の増加に伴って周方向に進展していることが分かる。実験後、試験配管を観察したところ、発生した疲労き裂は発光領域と良い一致を示し、その幅は  $10\mu\text{m}$  以下であり非常に微細なものであることが明らかになった(図 4.6.3.5)。

さらに、き裂の進展速度が小さい領域では、発光強度はほとんど変化しないが、 $10^{-6}[\text{mm}/\text{cycle}]$  以上では、き裂進展速度は、発光強度のべき乗に比例して増加していることが分かった。これは Palis 則に類似した傾向があることを明らかにした。

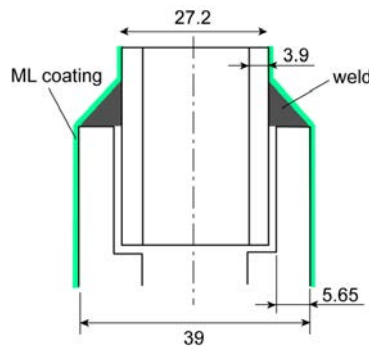


図 4.6.3.3 応力発光塗布した溶接部の断面図。

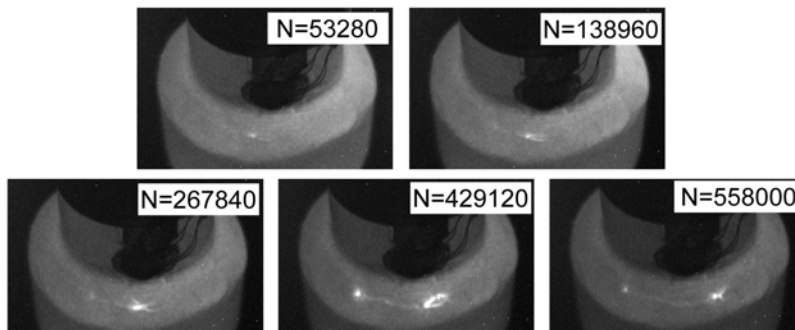


図 4.6.3.4 劣化過程中的の応力発光画像。



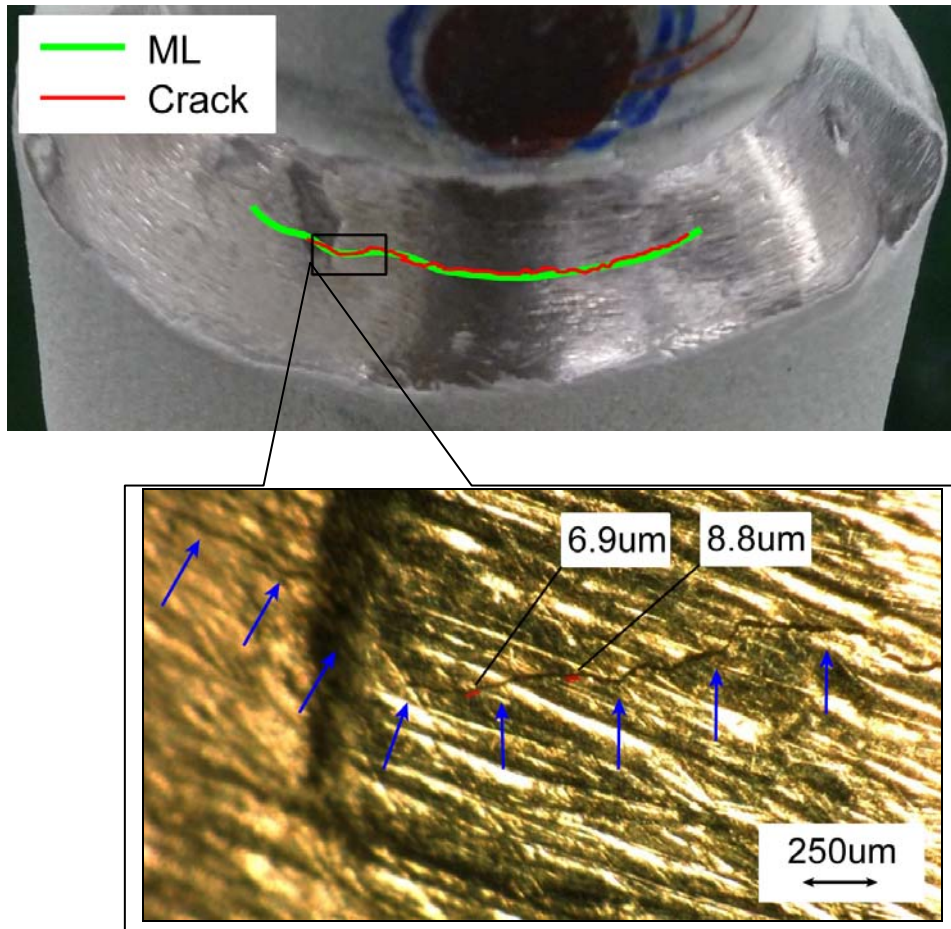


図 4.6.3.5 (上) 実験後に観察した疲労亀裂と応力発光の位置相関、(下) 視認困難な疲労亀裂の顕微鏡写真。

#### (2)研究成果の今後期待される効果

今後、この研究成果を利用し、火力、原子力各種プラントの配管系における配管の疲労き裂を簡易的に検出できる技術として使われることが期待されている。

### 4.6.4 圧力容器の実証試験と最適化

#### (1)研究実施内容及び成果

圧力容器は種々の産業ガスの貯蔵・運搬に広く実用されているが、腐食、疲労、溶接不良などの原因による漏洩、破裂など深刻、重大な事故を引き起こす可能性がある。そのため圧力容器の製造、使用において高圧ガス保安法による厳格な容器基準、検査基準などが定められている。近年、エネルギー資源問題、地球環境問題の有力な解決手段として水素エネルギーの利用開発が進められているが、特に燃料電池自動車の実用化には高圧の水素貯蔵が必須であり、また燃料となる水素を供給する水素ステーションにおいても高圧蓄圧器が重要な構成要素となる。このような高圧の圧力容器の安全性確保には容器の劣化をリアルタイムで診断できる技術のニーズが大きい。本実証試験は【水素製品研究試験センター】の協力を得て実施した。

鋼製圧力容器に水圧による内圧サイクルを負荷し、疲労による亀裂貫通試験を行った。その過程における応力発光体の発光挙動を調べた。その結果、図 4.6.4.1-2 に示すように、容器内部からの

亀裂進展にともなって発光強度の増大が観察され、亀裂貫通前にその位置を特定することが可能であることが実証された。圧力容器の劣化診断技術として応力発光体の適用が有用であることが示された。

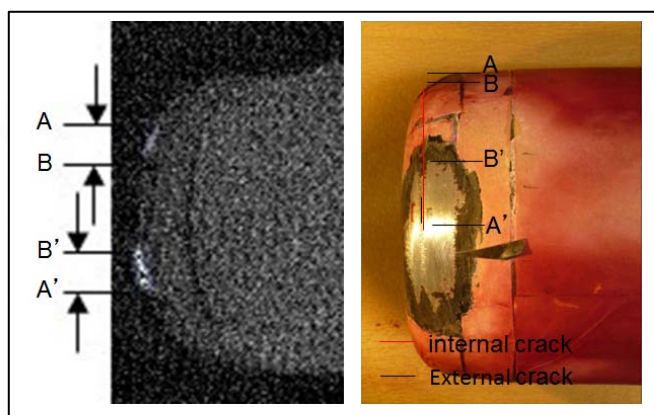


図 4.6.4.1 圧力容器の発光と亀裂状況

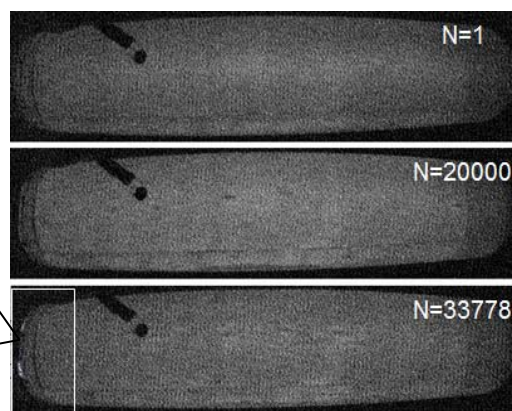


図 4.6.4.2 疲労過程中的の応力発光画像

## (2) 研究成果の今後期待される効果

応力発光体による計測は応力分布をリアルタイムでかつ面として捉えることが可能となり、歪みゲージによる応力測定や超音波探傷など他の非破壊検査技術に比べてメリットが大きい。本研究の成果により、リアルタイムで圧力容器の安全検査ができ、取得した分布から危険レベルも評価できる。今後は圧力容器の劣化診断・健全性評価ツールとしての利用が期待されている。

## §5 成果発表等

(1) 原著論文 (国内(和文)誌 11 件、国際(欧文)106 件 (内 in press 2 件))

1. X.S. Wang, H. Yamada, C.N. Xu, "Electrostrictive and photoluminescent properties in Pr-doped (Ba,Sr)(Ti,Al)O<sub>3</sub> ceramics", IEEE Trans. on ultrasonics ferroelectrics and frequency control, Vol.53 No.11, pp1969-1973, 2006
2. X.G. Zheng, T. Kawae, H. Yamada, K. Nishiyama, C.N. Xu, "Coexisting ferromagnetic order and disorder in a uniform system of hydroxyhalide Co<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl", Physical Review Letters, Vol.97 No.24, 247204 (1-4), 2006
3. Y. Imai, R. Momota, Y. Adachi, K. Nishikubo, Y. Kaida, H. Yamada, C.N. Xu, "Water-resistant surface-coating on europium-doped strontium aluminate nanoparticles", Journal of the Electrochemical Society, Vo.154 No.3, J77-J80, 2007
4. T. Koga, K. Sakai, S. Maehara, N. Terasaki, Y. Imai, C.N. Xu, "Measurement of mechanically induced luminescence from microparticles", Proceedings of SPIE, Vol.6413, 2007
5. N. Terasaki, C.N. Xu, Y. Imai, H. Yamada, "Photocell system driven by mechanoluminescence", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.46 4B, pp.2385-2388, 2007
6. N. Terasaki, K. Sakai, T.Koga, C. Li, Y. Imai, H. Yamada, Y. Adachi, K. Nishikubo, C.N. Xu, "Mechanoluminescence studies upon single nanoparticles by AFM-photomeasurement system", Material Reserch Society Symposium Proceedings, Vol.951, 89-93, 2007
7. H. Chen, C.N. Xu, Y. Liu, Y. Chen, J. S. Williams, "Light emission and excitonic effect of boron nitride nanotubes observed by photoluminescent spectra", Optical Materials, Vol.29, pp.1295-1298, 2007
8. C. Z. Li, Y. Imai, Y. Adachi, H. Yamada, K. Nishikubo, C.N. Xu, "One-step synthesis of luminescent nanoparticles of complex oxide, strontium aluminate", Journal of the American Ceramic Society, Vol.90 No.7, pp.2273-2275, 2007
9. Y. Imai, R. Momota, C.N. Xu, "Elasticoluminescence of europium-doped strontium aluminate spherical particles dispersed in polymeric matrices", Materials Letters, Vol.61, pp.4124-4127,

- 2007
10. H. Zhang, H. Yamada, N. Terasaki, C.N. Xu, "Ultraviolet mechanoluminescence from SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Ce and SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Ce, Ho", Applied Physics Letters, Vol.91 No.8, 081905(1)-081905(3), 2007
  11. H. Zhang, H. Yamada, N. Terasaki, C.N. Xu, "Stress-induced mechanoluminescence in SrCaMgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:Eu", Electrochemical and Solid State Letters, Vol.10, J129-J131, 2007
  12. C.S. Li, C.N. Xu, L. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, "Dynamic visualization of stress distribution on metal surface by mechanoluminescence image", Second International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics '07-OSAKA, No.56, 2007
  13. 張琳, 山田浩志, 今井祐介, 寺崎正, 安達芳雄, 西久保桂子, 徐超男, "耐水性を有する新規応力発光材料の開発", 粉体工学会誌, Vol.44 No.9, pp.673-679, 2007
  14. X. Fu, H. Yamada, C.N. Xu, "Quality improvement of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> film on quartz glass through a two-step sputtering process", Journal of the Electrochemical Society, Vol.154 No.10, J341-J344, 2007
  15. H. Yamada, X. Fu, C.N. Xu, "Enhancement of adhesion and triboluminescent properties of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup> films fabricated by RF magnetron sputtering and post-annealing techniques", Journal of the Electrochemical Society, Vol.154 No.11, J348-J351, 2007
  16. C.Z. Li, Y. Adachi, Y. Imai, K. Nishikubo, C.N. Xu, "Processing and properties of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu nanoparticles prepared via polymer-coated precursor", Journal of the Electrochemical Society, Vol.154, J362-364, 2007
  17. H. Zhang, H. Yamada, N. Terasaki, C.N. Xu, "Green mechanoluminescence of Ca<sub>2</sub>MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:Eu and Ca<sub>2</sub>MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:Eu,Dy", Journal of the Electrochemical Society, Vol.155(2), J55-J57, 2007
  18. H. Yamada, C.N. Xu, "Ab initio calculations of the mechanical properties of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> stuffed tridymite", Journal of Applied Physics, Vol.102, 126103(1)-126103(3), 2007
  19. X.G. Zheng, M. Hagihala, T.Kawae, C.N. Xu, "Defect-induced short-range-order from a spin-ice related state in deformed pyrochlore Co<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>Cl", Physical Review B, Vol.77, 024418(1)-024418(5), 2008
  20. H. Zhang, H. Yamada, N. Terasaki, C.N. Xu, "Blue-greenish light emission from stress-activated SrCaMgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:Eu", Key Engineering Materials, Vol.368-372, pp.359-362, 2008
  21. C.Z. Li, Y. Adachi, Y. Imai, K. Nishikubo, C.N. Xu, "Elastico-luminescent nanoparticles prepared via polymer-coated precursor formed in reverse micelles", Key Engineering Materials, vol.368-372, pp.355-358, 2008
  22. L. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, C.N. Xu, "Development of a novel elasticoluminescent material with calcium aluminosilicate", Key Engineering Materials, vol.368-372, pp.352-354, 2008
  23. C.S. Li, C.N. Xu, H. Yamada, Y. Imai, H. Zhang, L. Zhang, "A novel technique for viewing stress distribution with mechanoluminescence materials", Key Engineering Materials, vol.368-372, pp.1401-1404, 2008
  24. X. Fu, H. Yamada, C.N. Xu, "Effects of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> homo-buffer layer on SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu phosphors film grown on glass by RF sputtering", Key Engineering Materials, vol.368-372, pp.1358-1361, 2008
  25. H. Yamada, X. Fu, C.N. Xu, "Triboluminescence of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu film with strong adhesion fabricated by a combination of RF magnetron sputtering and post-annealing treatment", Key Engineering Materials, vol.368-372, pp.1362-1365, 2008
  26. L. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, C.N. Xu, "Observation of elasticoluminescence from CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>:Eu<sup>2+</sup> and its water resistance behavior", Journal of the Electrochemical Society, Vol.155(3), J63-J65, 2008
  27. H. Yamada, H. Kusaba, C.N. Xu, "Anisotropic lattice behavior in elasticoluminescent material SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>", Applied Physics Letters, Vol.92 No.10, 101909(1)-101909(3), 2008
  28. 今井祐介, 李晨姝, 山田浩志, 李承周, 寺崎正, 徐超男, "応力発光材料を利用した応力分布のイメージング", JAXA Special Publication(第3回学際領域における分子イメージングフォーラム), CDROM, 2008
  29. X. Fu, H. Yamada, K. Nishikubo, H. Zhang, C.N. Xu, "Preparation and characterization of fiber-textured SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu films grown using a homo-buffer layer", Journal of Crystal Growth, Vol.310 No.11, pp.2885-2889, 2008
  30. H. Zhang, H. Yamada, N. Terasaki, C.N. Xu, "Blue light emission from stress-activated

- CaYAl<sub>3</sub>O<sub>7</sub>:Eu”, Journal of the Electrochemical Society, Vol.155 No.5, J128-J131, 2008
31. X. Fu, H. Yamada, C.N. Xu, “Triboluminescence properties of highly orientated SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu films on inconel 600 substrate”, Electrochemical and Solid State Letters, Vol.11 No.5, J27-J30, 2008
  32. L. Zhang, N. Bu, H. Yamada, C.N. Xu, “Multifunctional performance of europium-doped feldspar ceramics”, Advanced Materials Research, Vol.47-50, pp.209-211, 2008
  33. N. M. Rao, D.R. Reddy, B.K. Reddy, C.N. Xu, “Intense red mechanoluminescence from (ZnS)<sub>1-x</sub>(MnTe)<sub>x</sub>”, Physics Letters A, Vol.372, pp.4122-4126, 2008
  34. 徐超男, “応力発光技術の新展開”, The 8th Workshop on Materials Science and Technology for Spallation Neutron Source (第8回核破砕中性子源材料の科学技術研究会), CDROM, 2008
  35. C.S. Li, C.N. Xu, L. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, “Dynamic visualization of stress distribution on metal surface by mechanoluminescence image”, Journal of JSEM, Vol.8, 79-82, 2008
  36. H. Yamada, K. Nishikubo, C.N. Xu, “Determination of Eu sites in highly europium-doped strontium aluminate phosphor using synchrotron X-ray powder diffraction analysis”, Journal of the Electrochemical Society, Vol.155 No.7, F139-F144, 2008
  37. C.S. Li, C.N. Xu, Y. Imai, W.X. Wang, L. Zhang, H. Yamada, “Real-time monitoring of dynamic stress concentration by mechanoluminescent sensing film”, Applied Mechanics and Materials, Vol.13-14, 247-250, 2008
  38. X. Fu, H. Yamada, C.N. Xu, “Fabrication of triboluminescent film on inconel 600 substrate by RF magnetron sputtering method”, Key Engineering Materials, Vol.388, pp.153-156, 2008
  39. T. Torii, Y. Adachi, H. Yamada, Y. Imai, C.N. Xu, “Enhancement of mechanoluminescence from ZnS:Mn, Te by wet process”, Key Engineering Materials, Vol.388, pp.301-304, 2008
  40. L. Zhang, C.S. Li, H. Yamada, C.N. Xu, “A novel blue-violet emitting mechanoluminescent material with calcium aluminosilicate”, Key Engineering Materials, Vol.388, pp.277-280, 2008
  41. C.S. Li, C.N. Xu, L. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, W.X. Wang, “Dynamic visualization of stress distribution by mechanoluminescence image”, Key Engineering Materials, Vol.388, pp.265-268, 2008
  42. H. Zhang, H. Yamada, N. Terasaki, C.N. Xu, “New mechanoluminescent materials with various colors”, Key Engineering Materials, Vol.388, pp.305-308, 2008
  43. C.S. Li, C.N. Xu, L. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, “Dynamic visualization of stress distribution on metal by mechanoluminescence images”, Journal of Visualization, Vol.11 No.4, pp.329-335, 2008
  44. X.G. Zheng, H. Kubozono, H. Yamada, Y. Ishiwata, K. Kato, C.N. Xu, “Giant negative thermal expansion in magnetic nanocrystals”, Nature Nanotechnology, No.3, pp.724-726, 2008
  45. 兵藤行志, 徐超男, 三島初, “硬組織解析への応力発光法の応用—熱弾性応力測定法との比較—”, 第21回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, Vol.8 No.53, pp.147-148, 2009
  46. N. M. Rao, G. Krishnaiah, S. Sambasivam, K.P. Reddy, D.R. Reddy, B.K. Reddy, C.N. Xu, “Structural, optical and electrical properties of luminescent (ZnS)<sub>1-x</sub>(MnTe)<sub>x</sub> powders”, Journal of Alloys and Compounds, Vol.468, pp.360-364, 2009
  47. W.X. Wang, T. Matsubara, Y. Takao, Y. Imai, C.N. Xu, “Visualization of stress distribution using smart mechanoluminescence sensor”, Materials Science Forum, Vol.614, pp.169-174, 2009
  48. H. Zhang, N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu, “Blue light emission from stress-activated Sr<sub>2</sub>MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:Eu”, International Journal of Modern Physics B, Vol.23, pp.1028-1033, 2009
  49. 徐超男, “応力発光体を用いたセンシング-「見えない」危険を可視化する技術”, Ceramics Japan, Vol.44 No.3, pp.154-160, 2009
  50. N. Terasaki, C.N. Xu, “Mechanoluminescence recording device integrated with photosensitive material and europium-doped SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.2009 No.48, 04C150(1)-04C150(4), 2009
  51. X. Fu, H. Yamada, C.N. Xu, “Property of highly oriented SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu film on quartz glass substrates and its potential application in stress sensor”, Journal of the Electrochemical Society, Vol.156 No.9, J249-J252, 2009
  52. H. Zhang, N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu, “Mechanoluminescence of europium-doped SrAMgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub> (A=Ca, Sr, Ba)”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.48, 04C109(1)-04C109(4), 2009

53. 徐超男, “応力発光体を用いたセンシング-「見えない」危険を可視化する技術”, 平成 21 年電気学会 電子・情報・システム部門大会講演論文集, pp.179-182, 2009
54. X. Fu, H. Yamada, C.N. Xu, “Triboluminescence of highly oriented SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>: Eu film and its potential role as a stress indicator”, Key Engineering Materials, Vol.421-422, 319-322, 2009
55. L. Zhang, C.N. Xu, H. Yamada, N. Bu, “Upgrade mechanoluminescence by Sr<sup>2+</sup> substitution in CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>: Eu<sup>2+</sup>”, Key Engineering Materials, Vol.421-422, pp.315-318, 2009
56. N. Bu, N. Ueno, C.N. Xu, O. Fukuda, “Measurement of weak light emitted from mechanoluminescence materials using Si photodiode and light concentrator”, 2009 IEEE SENSORS, Vol.1-3, pp.1528-1532, 2009
57. N. Terasaki, H. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, C.N. Xu, “Hybrid material consisting of mechanoluminescent material and TiO<sub>2</sub> photocatalyst”, Thin Solid Films, Vol.518 No.2, pp.473-476, 2009, DOI: 10.1016/j.tsf.2009.07.026
58. H. Zhang, N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu, “Development of mechanoluminescent micro-particles CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: Eu, Dy and their application in sensors”, Thin Solid Films, Vol.518 No.2, pp.610-613, 2009, DOI: 10.1016/j.tsf.2009.07.124
59. W.X.Wang, Y. Imai, T. Matsubara, Y. Takao, C.N. Xu, “A New Damage Detecting Method Using Smart Mechanoluminescence Sensor”, Proceedings of the 6th APCAT, CDROM C2-8, pp.1-8, 2009
60. Y. Imai, C.N. Xu, W. X. Wang, “Evaluation of stress concentration near the crack tip using mechanoluminescent coating”, ISEM 2009 Proceedings, CDROM MA-III-4, 2009
61. D. Ono, C.Z. Li, C.N. Xu, “Visualization of internal defect of a pipe using mechanoluminescence material”, ISEM 2009 Proceedings, CDROM MA-IV-2, 2009
62. C.S. Li, C.N. Xu, Y. Imai, N. Bu, “Full-field measurement of dynamic stress by mechanoluminescence sensing film”, Proceedings of SPIE, Vol.7493, 749335-1~749335-7, 2009, DOI: 10.1117/12.845577
63. L. Zhang, C.N. Xu, H. Yamada, N. Bu, “Enhancement of Mechanoluminescence in CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>: Eu<sup>2+</sup> by Partial Sr<sup>2+</sup> Substitution for Ca<sup>2+</sup>”, Journal of The Electrochemical Society, Vol.157 No.3, J50-J53, 2010, DOI: 10.1149/1.3274879
64. J.C. Zhang, X.S. Wang, X. Yao, H. Yamada, C.N. Xu, “Studies on AC Electroluminescence Device Made of BaTiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub>:Pr<sup>3+</sup> Diphasic Ceramics”, Applied Physics Express, Vol.3, 022601(1)-022601(3), 2010, DOI:10.1143/APEX.3.022601
65. H. N. Luitel, T. Watari, T. Torikai, M. Yada, R. Chand, C.N. Xu, K. Nonaka, “Highly water resistant surface coating by fluoride on long persistent Sr<sub>4</sub>Al<sub>14</sub>O<sub>25</sub>:Eu<sup>2+</sup>/Dy<sup>3+</sup> phosphor”, Applied Surface Science, Vol.256 No.8, pp.2347-2352, 2009, DOI: 10.1016/j.apsusc.2009.10.065
66. B.P. Chandra, C.N. Xu, H. Yamada, X.G. Zheng, “Luminescence Induced by Elastic Deformation of ZnS:Mn Nanoparticles”, Journal of Luminescence, Vol.130, pp.442-450, 2010, DOI: 10.1016/j.jlumin.2009.10.010
67. C.Z. Li, C.N. Xu, Y. Adachi, N. Ueno, “Real-time detection of axial force for reliable tightening control”, Proceedings of SPIE, Vol.7522, 75223G-1~75223G-6, 2010, DOI:10.1117/12.851697
68. 小野大輔, 李周承, 徐超男, “応力発光センサーを用いた配管内部の欠陥の可視化”, 可視化情報学会誌, 2010 Vol.30 Suppl.No.1, pp.341-342, 2010
69. 小野大輔, 川端雄一郎, 李晨姝, 李承周, 上野直広, 岩波光保, 徐超男, “応力発光センサーによるコンクリートのひび割れ進展の可視化”, 可視化情報学会誌, 2010 Vol.30 Suppl.No.1, pp.343-344, 2010
70. D. Ono, C.Z. Li, N. Bu, C.N. Xu, “Visualization of Internal Defect of a Pipe Using Mechanoluminescent Sensor”, Journal of JSEM, 2010 Vol.10, pp.152-156, 2010
71. K. Hyodo, C.N. Xu, H. Mishima, S. Miyakawa, “Optical stress imaging for orthopedic biomechanics - comparison of thermoelastic stress analysis and developed mechanoluminescent method”, IFMBE Proceedings / 6th World Congress on Biomechanics (WCB2010), Vol.31, pp.545-548, 2010
72. H. Zhang, N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu, “Detection of stress distribution using Ca<sub>2</sub>MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>: Eu, Dy micro-particles”, Physica E, No.42, pp.2872-2875, 2010, DOI:10.1016/j.physe.2010.02.013)
73. J. C. Zhang, X.S. Wang, X. Yao, C.N. Xu, H. Yamada, “Strong Elastico-Mechanoluminescence in Diphasic (Ba, Ca)TiO<sub>3</sub>:Pr<sup>3+</sup> with Self-Assembled Sandwich Architectures”, Journal of the



- Electrochemical Society, Vol.157 No.12, G269-G273, 2010, DOI:10.1149/1.3496667
74. T. Z. Zhan, C.N. Xu, O. Fukuda, H. Yamada, C.S. Li, "Direct Visualization of Ultrasonic Power Distribution Using Mechanoluminescent Film", *Ultrasonics Sonochemistry*, Vol.18, pp.436-439, 2011, DOI:10.1016/j.ultsonch.2010.07.017
  75. W.X. Wang, T. Matsubara, Y. Takao, Y. Imai, C.N. Xu, "A new smart damage sensor using mechanoluminescence material", *Materials Science Forum* Vols. 675-677, pp1081-1084, 2011, DOI:10.4028/www.scientific.net/MSF.675-677.1081
  76. M. Kawai, M. Futakawa, T. Naoe, H. Yamada, C.N. Xu, "Measurements of strain-rate distributions on material after SHPB impact", *Engineering Transactions*, Vol.59, No.1, pp.13-21, 2011
  77. N. Terasaki, H. Zhang, H. Yamada, C.N. Xu, "Mechanoluminescent light source for a fluorescent probe molecule", *Chemical Communication*, Vol.47, pp.8034-8036, 2011, DOI: 10.1039/c1cc11411e
  78. 川端雄一郎, 小野大輔, 李晨姝, 川崎悦子, 岩波光保, 加藤絵万, 上野直広, 徐超男, "応力発光センサによる暗視野下におけるコンクリートのひび割れ検出に関する基礎的検討", *土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造)*, Vol.67 No.3, pp.430-435, 2011
  79. 寺澤佑仁, 徐超男, 兵藤行志, "応力発光体を用いた模擬大腿骨の表面分布の可視化", *日本実験力学学会講演論文集 2011 年度年次講演会*, No.11, pp.386-388, 2011
  80. L. Zhang, C.N. Xu, H. Yamada, "Strong Mechanoluminescence from Oxynitridosilicate Phosphors", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol.18, 212001(1)-(4), 2011, DOI:10.1088/1757-899X/18/21/212001
  81. T.Z. Zhan, C.N. Xu, O. Fukuda, H. Yamada, C.S. Li, "Mechanoluminescent Film Sensor for Visualizing Ultrasonic Power Distribution", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol.18, 212011(1)-(4), 2011, DOI:10.1088/1757-899X/18/21/212011
  82. Y. Terasawa, C.N. Xu, H. Yamada, M. Kubo, "Near Infra-Red Mechanoluminescence from Strontium Aluminate Doped with Rare-Earth Ions", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol.18, 212013(1)-(4), 2011, DOI:10.1088/1757-899X/18/21/212013
  83. S. Guo, C.N. Xu, D. Ono, "Diagnosis of Internal Defect of a Pipe by Mechanoluminescent Sensor", *Proceedings of Structural Health Monitoring 2011*, Vol.2, pp.1442-1448, 2011
  84. C.S. Li, C.N. Xu, Y. Imai, N. Bu, "Real-time visualization of the Portevin-Le Chatelier effect with mechanoluminescent sensing film", *Strain*, Vol.47, pp.483-488, 2011, DOI: 10.1111/j.1475-1305.2009.00713.x
  85. T. Z. Zhan, C.N. Xu, H. Yamada, Y. Terasawa, L. Zhang, H. Iwase, M. Kawai, "Enhancement of Afterglow in  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  Long-Lasting Phosphor with Swift Heavy Ion Irradiation", *RSC Advances*, Vol. 2, pp.328-332, 2011, DOI: 10.1039/c1ra00426c
  86. W. Liu, T. Nagatake, K. Takase, C.X. Wu, D. Ono, H. Yamada, C.N. Xu, "Evaluation of thermal stress distribution with elasticoluminescent materials", *Proc. of 8th International Conference on Flow Dynamics*, pp.102-103, 2011
  87. T. Watari, S. Matsubara, T. Torikai, M. Yada, C.N. Xu, N. Terasaki, "Preparation of  $\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{3+}/\text{Dy}^{3+}$  Phosphor", *Proceedings of the 28th Japan-Korea International Seminar on Ceramics*, pp.122-123, 2011
  88. 上野直広, 小野大輔, 徐超男, "構造物の応力分布に起因した応力発光のパターン検出", *計測自動制御学会論文集*, 2011, Vol.48 No.1, pp.67-72, 2012
  89. T.Z. Zhan, C.N. Xu, H. Yamada, Y. Terasawa, L. Zhang, H. Iwase, M. Kawai, "Enhancement of impact-induced mechanoluminescence by swift heavy ion irradiation", *Applied Physics Letters*, Vol.100 No.1, 014101(1)-014101(3), 2012, DOI:10.1063/1.3673342
  90. S. Kamimura, H. Yamada, C.N. Xu, "Development of new elasticoluminescent material  $\text{SrMg}_2(\text{PO}_4)_2:\text{Eu}$ ", *Journal of Luminescence*, Vol.132, pp.526-530, 2011, DOI:10.1016/j.jlumin.2011.09.033
  91. S. Guo, C.N. Xu, D. Ono, C.S. Li, Y. Sakata, S. Watanabe, "Visualization of the Fatigue Crack for Pressure Vessel by Mechanoluminescence Sensor", *Proceedings of 2012 IEEE Sensors Applications Symposium*, pp.212-216, 2012
  92. N. Terasaki, C.N. Xu, C.S. Li, L. Zhang, "Active Crack Indicator with Mechanoluminescent sensing technique", *Proceedings of 2012 IEEE Sensors Applications Symposium*, pp.77-81, 2012

93. C.N. Xu, "The Creation of Safety Monitoring Network Systems Based on Mechanoluminescence Sensors", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.6-25, 2012
94. K. Hyodo, C.N. Xu, H. Mishima, S. Miyakawa, "Optical Stress Imaging for Orthopedic Biomechanics –Comparison of Thermoelastic Stress Analysis and Developed Mechanoluminescent Method", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.61-64, 2012
95. 松尾孟、池田賢一、波多聰、中島英治、山田浩志、徐超男, "SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> の微細組織と擬弾性変形", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.65-72, 2012
96. H. Yamada, C.N. Xu, T.Z. Zhan, Y. Terasawa, S. Kamimura, L. Zhang, C.X. Wu, "Current Developments of Elastico-luminescent Materials for Advanced Measurement Technique", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.81-86, 2012
97. Y. Kawabata, M. Iwanami, E. Kato, T. Nishida, C.N. Xu, "Applicability of Mechanoluminescent Film Sensor to Inspection Tool for Integrated Maintenance of Port Structure", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.87-94, 2012
98. M. Kawai, M. Futakawa, T. Naoe, H. Yamada, C.N. Xu, "Measurement of material strain change due to SHPB impact with a mechanoluminescent material", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp. 102-108, 2012
99. S. Guo, C.N. Xu, D. Ono, C.S. Li, S. Watanabe, "Prediction of the Fatigue Fracture in Pressure Vessel with Mechanoluminescence Sensor", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.117-124, 2012
100. 寺崎正、李晨姝、張琳、郭樹強、坂田義太郎、小野大輔、樺井正義、卜楠、今井祐介、安達芳雄、山田浩志、上野直広、徐超男, "応力発光技術の実現場適応事例", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp. 154-161, 2012
101. N. Terasaki, C.S. Li, L. Zhang, S. Guo, Y. Sakata, D. Ono, M. Tsubai, N. Bu, Y. Imai, Y. Adachi, H. Yamada, N. Ueno, C.N. Xu, "Application Examples of Mechanoluminescent Diagnostic Technique", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.162-169, 2012
102. C.S. Li, C.N. Xu, Y. Imai, L. Zhang, "Full-field imaging and evaluation of stress in metal using mechanoluminescence sensing film", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.170-175, 2012
103. T.Z. Zhan, C.N. Xu, O. Fukuda, H. Yamada, C.S. Li, "Visualization of Ultrasonic Power Distribution with Mechanoluminescent Film Sensor", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.176-181, 2012
104. W. Liu, T. Nagatake, K. Takase, C.X. Wu, D. Ono, H. Yamada, C.N. Xu, "Visualization of Thermal Stress Distribution With Elastico-luminescent Materials", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.182-189, 2012
105. H.W. Zhang, C.N. Xu, N. Terasaki, H. Yamada, "Stress induced yellow luminescence from Sr<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>:Eu,Dy", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.206-209, 2012
106. L. Zheng, N. Terasaki, H. Yamada, Y. Terasawa, C.N. Xu, "Near-infrared Mechanoluminescent Properties in the Compounds of SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.215-219, 2012
107. L. Zhang, H. Yamada, C.S. Li, C.N. Xu, "A Novel Multifunctional Phosphors With Water Resistance", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.236-241, 2012
108. W.X. Wang, C.S. Li, Y. Sakata, R. Momota, C.N. Xu, "Visualization of Stress Concentration around Inclined Crack-Like Notch Using Mechanoluminescence Film Sensor", Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp. 242-245, 2012
109. Y. Sakata, N. Terasaki, L. Zhang, C.S. Li, N. Ueno, C.N. Xu, "Non-destructive flaw detection of

- steel truss bridge using mechanoluminescent sensor”, Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.246-250, 2012
110. S. Kamimura, H. Yamada, L. Zhang, E. Kawasaki, C.N. Xu, “Elasticoluminescence properties from sensing film using  $\text{SrMg}_2(\text{PO}_4)_2\cdot\text{Eu}^{2+}$ ”, Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.251-254, 2012
  111. Y. Terasawa, C.N. Xu, H. Yamada, M. Kubo, “Near Infra-Red Mechanoluminescence from by the Energy Transfer from  $\text{Eu}^{2+}$  to  $\text{Er}^{3+}$  Ions”, Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.255-259, 2012
  112. N. Ueno, C.N. Xu, “An approach to mechanoluminescent pattern extraction from mechanoluminescent images”, Proceedings of International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, pp.260-263, 2012
  113. L. Zhang, C.N. Xu, N. Ueno, Y. Zhang, C.S. Li, H. Yamada, “A Novel Large Strain Sensor Using  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  / Rubber Composite”, Proceedings of SPIE, vol.8348, 2012.02
  114. T.Z. Zhan, C.N. Xu, H. Yamada, Y. Terasawa, L. Zhang, H. Iwase, M. Kawai, “Enhancement of impact-induced mechanoluminescence for structural health monitoring using swift heavy ion irradiation”, Proceedings of SPIE, vol.8348, 2012.02
  115. N. Terasaki, C.N. Xu, C.S. Li, C.Z. Li, L. Zhang, D. Ono, M. Tsubai, Y. Adachi, T. Shinokawa, Y. Imai, N. Ueno, “Visualization of active crack on bridge in use by mechanoluminescent sensor”, Proceedings of SPIE, vol.8348, 2012.02
  116. C.S. Li, C.N. Xu, D. Ono, N. Ueno, Y. Kawabata, “Fracture prediction in reinforced concrete using mechanoluminescent sensor”, 2012 Special Issue of Journal of the Japanese Society for Experimental Mechanics, in press
  117. H. Matsuo (Nippon Steel Corporation), K. Ikeda, S. Hata, H. Nakashima (Kyushu Univ.), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Phase transformation behavior and pseudoelastic deformation in  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ ”, International Conference on Martensitic Transformations, Journal of Alloys and Compounds, 2011, in press

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 徐超男, “光の瞬きで見えない異常・危険を見抜くー応力発光技術ー”, 産総研 TODAY 8 月号, Vol.7 No.8, pp.32, 2007
2. 今井祐介, 徐超男, “応力発光性無機ナノ材料”, 化学工業, Vol.58 No.9, pp.23-28, 2007.09
3. 寺崎正, 徐超男, “原子間力顕微鏡を用いた単一応力発光マイクロ・ナノ粒子の発光評価”, ナノ学会会報誌, Vol.6 No.1, pp.3-7, 2007
4. 今井祐介, 山田浩志, 徐超男, “力(ちから)に応じて光る材料”, 化学と教育, Vol.56 No.4, pp.178-179, 2008
5. 徐超男, “直径 20nm の力センサー—AFM を用いた単一応力発光ナノ粒子の発光評価—”, 表面科学, Vol.29 No.4, pp.229-234, 2008
6. 徐超男, “応力発光技術”, (社)日本計量機器工業連合会 広報誌「はかる」, Vol.25 No.91, pp.4-7, 2008
7. 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, 李承周, 李晨姝, 徐超男, “応力発光性ハイブリッド材料”, 有機—無機ナノハイブリッド材料の新展開”, 第5編 第18章, pp.225-232, 2009
8. 松尾孟, 池田賢一, 波多聡, 中島英治, 山田浩志, 徐超男, “ $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ 系応力発光材に導入された面欠陥の透過型電子顕微鏡観察”, Ceramics Japan 6 月号, Vol.44 No.6, pp.473, 2009.06
9. 徐超男, “応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステム”, O plus E 2009 年 7 月号, Vol.31 No.7, pp.770-775, 2009
10. 徐超男, “「見えない」危険を可視化する技術”, 検査技術, Vol.14 No.9, pp.1-10, 2009.09
11. 兵藤行志, 野中勝信, 徐超男, “バイオメカニカル光イメージング”, 産総研 TODAY 9 月号, Vol.9 No.9, pp.9, 2009
12. 徐超男, “応力発光体を用いたセンシングー「見えない」危険を可視化する技術”, 粉体および粉末冶金, Vol.56 No.10, pp.627-634, 2009
13. 徐超男, “ $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  系応力発光材料”, セラミックスデータブック 2009/10, Vol.37 No.91,

pp.173-177, 2009

14. 兵藤行志, 野中勝信, 徐超男, “Biomechanical Optical Imaging”, AIST Today International Edition, No.34, pp.13-14, 2010
15. 寺崎正, 山田浩志, 徐超男, “超音波照射による応力発光”, ソノケミストリー学会誌, Vol.4 No.1, pp.21, 2010
16. 徐超男, “応力発光体を用いた構造物の安全管理 -応力発光センサーでひずみ状態などをリアルタイムに可視化-”, 産総研 TODAY7月号, Vol.10 No.7, pp.18, 2010
17. 汪文学, 徐超男, 安達芳雄, 寺崎正, 今井祐介, 上野直広, “応力発光材料による構造物の安全診断システム”, 検査技術, Vol.15 No.9, pp.1-7, 2010
18. 徐超男, “暗環境下でのコンクリートのひび割れを瞬時に可視化-応力発光体を用いた構造物の安全管理モニタリングシステム”, セメント・コンクリート, No.764, pp.8-14, 2010
19. C.N. Xu, “Monitoring system for safety management of structures using elasto-luminescent materials -Real-time visualization of the shape distribution and propagation of cracks using elasto-luminescent sensors”, AIST TODAY International Edition, 2010-4 No.38, pp.16, 2010
20. 徐超男, “応力発光体を用いた構造物管理”, 応用物理, Vol.80 No.1, pp.46-50, 2011
21. 川端雄一郎, 徐超男, “見えないひび割れを可視化する”, 土木学会誌, Vol.96 No.2, pp.28-29, 2011
22. 寺崎正, 徐超男, “超音波照射による応力発光”, ケミカルエンジニアリング, Vol.56 No.2, pp.9-14, 2011
23. 徐超男, “応力発光体を用いた新計測・診断技術-応力・ひずみ分布の可視化と構造物健全性評価への応用-”, Journal of JSEM, Vol.11 No.3, pp.13-23, 2011,
24. 徐超男, “応力発光による構造物の安全管理イメージング”, 光技術コンタクト, Vol.49 No.11, pp.14-24, 2011

### (3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

#### ① 招待講演 (国内会議 38 件、国際会議 30 件)

1. C.N. Xu, H. Yamada, Y. Imai, Y. Adachi, K. Nishikubo (AIST), “Elastico-Luminescence and its Applications”, 5th Asian Meeting on Electroceramics, Thailand Bangkok, 2006.12.14
2. 徐超男(産総研), “応力発光技術の新展開”, 第8回核破砕材料と科学研究会, 茨城県, 2007.01.11
3. 徐超男(産総研), “応力発光の基礎的特性と応力発光素子の開発”, 第6回メゾテクノロジーフォーラム, 茨城県, 2007.03.09
4. 徐超男(産総研), “応力発光材料とその応用技術”, 平成19年電気学会全国大会, 富山県, 2007.03.15
5. 今井祐介, 徐超男(産総研), “応力発光性有機・無機ハイブリッド材料”, 日本化学会第87回春季年会, 大阪府, 2007.03.25
6. 寺崎正, 坂井一文, 古賀淑哲, 李承周, 今井祐介, 山田浩志, 安達芳雄, 西久保桂子, 徐超男(産総研), “AFMを用いた単一応力発光ナノ粒子の発光評価”, 静岡大学未踏技術開発部門研究会, 静岡県, 2007.07.19
7. 徐超男(産総研), “新規な応力発光センサのためのナノ粒子合成と単一粒子の発光評価”, ナノ粒子研究会, 東京都, 2007.07.31
8. 徐超男(産総研), “光の瞬きで危険を見抜くーさきがけ研究のその後”, さきがけ研究「変換と制御」領域研究会, 東京都, 2007.10.20
9. 今井祐介(産総研), 李晨姝(九大), 山田浩志, 李承周, 寺崎正, 徐超男(産総研), “応力発光材料を利用した応力分布のイメージング”, 第三回学際領域における分子イメージングフォーラム, 東京都, 2007.11.13
10. C.N. Xu, C. Li, N. Terasaki, K. Sakai, T. Koga, Y. Imai (AIST), “Synthesis of mechanoluminescence nanoparticles and their characterization”, The 7th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PacRim7), Shanghai China, 2007.11.14
11. C.N. Xu (AIST), “Multi-scale sensing/diagnosis: sensor emitting light in response to external stress”, The 6th Chinese Conference for Advanced Functional Materials (CCAFM), Wuhan

- China, 2007.11.15
12. C.Z. Li, C.N. Xu, Y. Adachi, Y. Imai (AIST), "Elastico-luminescence of core-shell structured piezoelectrics  $\text{CaTiO}_3: \text{Pr}@\text{BaTiO}_3$ ", 第十二届全国誘電体物理 材料と応用学術会議, Xi'an China, 2008.04.18
  13. 徐超男, 寺崎正, 今井祐介, 李承周(産総研), "直径 20nm のフォースセンサ", ナノ学会第 6 回大会, 福岡県, 2008.05.08
  14. C.N. Xu, Y. Imai, N. Terasaki, K. Nishikubo, Y. Adachi, N. Ueno (AIST), "Multi-functional applications of smart coatings of mechanoluminescence materials", International Conference on Multifunctional Materials and Structures (MFMS2008), Hong Kong China, 2008.07.29
  15. N. Terasaki, H. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, C.N. Xu (AIST), "Hybrid material consisting of mechanoluminescent material and photocatalytic  $\text{TiO}_2$ ", ReserchMeeting in Liaoning Normal University, Tairen China, 2008.09.02
  16. 上野直広, 徐超男, 卜楠 (産総研), "アダプトロニクス -ヨーロッパの新しい潮流-", 計測自動制御学会第25回センシングフォーラム, 佐賀県, 2008.09.25
  17. C.N. Xu (AIST), "Elastico-Luminescent Ceramics and Its Applications", The 6th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-6), Ibaragi Japan, 2008.10.23
  18. C.N. Xu (AIST), "Elastico-Luminescent Ceramics for Energy and Environment Applications", The 9th International Symposium on Ceramic Materials and Components for Energy and Environmental Applications (2008CMCEE), Shanghai China, 2008.11.11
  19. 徐超男, 上野直広, 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, 福田修, 卜楠, 安達芳雄, 西久保桂子 (産総研), "応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出", 経産省と産総研との意見交換会 (BBL), 東京都, 2008.11.21
  20. 徐超男, 上野直広, 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, 福田修, 卜楠, 安達芳雄, 西久保桂子 (産総研), "応力発光を用いた安全管理センサーネットワーク", 科学技術と経済の会第 12 回センサーネットワーク研究会, 東京都, 2008.12.16
  21. 徐超男(産総研), "応力発光センサ", セキュリティ技術研究会, 東京都, 2009.02.19
  22. H. Yamada, C.N. Xu (AIST), "Elasticoluminescence and Its Applications", FEFDAES 国際セミナー, Miyagi Japan, 2009.02.26
  23. C.N. Xu (AIST), "Health monitoring network using smart sensor of elasticoluminescence", SPIE: Smart Structures/NDE 2009, SanDiego U.S.A, 2009.03.10
  24. 徐超男(産総研), "応力発光とその利用", 第 38 回窯業基礎九州懇話会, 佐賀県, 2009.03.27
  25. 徐超男(産総研), "ロールモデルとの懇談会 「ワークバランスを考えよう」", ダイバーシティ・サポートオフィス(DSO)セミナー, 茨城県, 2009.04.21
  26. 徐超男(産総研), "エンカレッジングセミナー-「研究費獲得講座 CREST 編」", ダイバーシティ・サポートオフィス(DSO) エンカレッジングセミナー, 茨城県, 2009.04.21
  27. 徐超男(産総研), "Sensing Technology with Elasticoluminescence", 京都大学グローバル COE 講演会, 京都府, 2009.06.03
  28. 徐超男(産総研), "応力発光体を用いたセンシング —「見えない」危険を可視化する技術", 粉体粉末冶金協会平成 21 年度春季大会, 京都府, 2009.06.04
  29. 寺崎正, 張洪武, 山田浩志, 今井祐介, 徐超男(産総研), "運動を検知して駆動する革新的な自立型光触媒システムの創製", 第8回産学官連携推進会議, 京都府, 2009.06.20
  30. C.N. Xu (AIST), X.G. Zheng (Saga University), H. Yamada, C.Z. Li (AIST), "Luminescence from piezoelectric materials", China-Japan Symposium on Ferroelectric Materials and Their Applications, Dunhung China, 2009.08.21
  31. C.N. Xu (AIST), "Innovation of elastico-luminescent materials and its applications", 12th International Meeting on Ferroelectricity and 18th IEEE International Symposium on Applications of Ferroelectrics (IMF-ISAF-2009), Xi'an China, 2009.08.25
  32. C.N. Xu (AIST), "Luminescent materials and their application", 研究交流講演会, Beijing China, 2009.08.27
  33. 徐超男 (産総研), "応力発光体を用いたセンシング —「見えない」危険を可視化する技術", 平成 21 年電気学会 電子・情報・システム部門大会, 徳島県, 2009.09.03



34. 徐超男(産総研), ”応力発光材料と応用”, 第 3 回日本化学会関東支部大会, 東京都, 2009.09.05
35. C.N. Xu (AIST), “Mechanoluminescence materials and their application”, The 9th International Meeting on Information Display (IMID 2009), South Korea, 2009.10.14
36. 徐超男(産総研), ”応力発光体を利用した欠陥危険度の可視化”, 溶接接合工学振興会第 20 回セミナー「ビジュアル化による溶接接合技術の新展開」, 東京都, 2009.10.29
37. 徐超男, 山田浩志, 上野直広(産総研), ”応力発光体を用いたセンシング”, 研究談話会, 愛知県, 2009.11.16
38. 徐超男(産総研), ”応力発光による応力/ひずみ分布の可視化”, 先端技術講演会, 福岡県, 2009.11.26
39. 徐超男(産総研), ”ナノ応力発光体の新展開”, 第 19 回日本 MRS 学術シンポジウム, 神奈川県, 2009.12.08
40. 徐超男(産総研), ”応力発光体を用いた安全管理システム”, 第 24 回信頼性シンポジウムー安心・安全を支える信頼性工学の新展開, 大阪府, 2009.12.10
41. 徐超男(産総研), ”「見えない」危険を可視化する技術の開発ー構造物の欠陥とその危険レベルを同時に診断ー”, 新技術説明会 (分野:半導体・デバイス、情報・通信), 東京都, 2010.01.21
42. 徐超男(産総研), ”応力発光技術の新展開”, 平成 21 年度産総研九州センター研究講演会, 福岡県, 2010.02.10
43. 寺崎正, 山田浩志, 徐超男(産総研), ”ユビキタス光源としての応力発光体”, オンディマンド・ミニマル製造プロセスに関する研究交流会, 佐賀県, 2010.03.02
44. 徐超男(産総研), ”研究者への道”, 平成 22 年度キャリアセミナー, 佐賀県, 2010.05.27
45. 徐超男(産総研), ”応力発光体を用いたセンシングー「見えない」危険を可視化する技術”, 産学官連携促進のための可視化技術に関する情報交換会, 島根県, 2010.06.10
46. W.X. Wang, T. Matsubara, Y. Takao (Kyushu Univ.), Y. Imai, C.N. Xu (AIST), “A new smart damage sensor using mechanoluminescence material”, The 7<sup>th</sup> International Forum on Advanced Material Science and Technology, Dalian China, 2010.06.27
47. C.N. Xu (AIST), “Seeing damage of composites by mechanoluminescence”, The Eighteenth Annual International Conference on Composites/Nano Engineering (ICCE - 18), Anchorage USA, 2010.07.08
48. C.N. Xu (AIST), “Luminescence materials and their applications “, 蘭州大学研究交流講演会, China, 2010.07.19
49. C.N. Xu (AIST), “Luminescence sensors and their applications”, 中国科学院上海硅酸盐研究所講演会, China, 2010.07.21
50. C.N. Xu (AIST), “Phosphor Sensors Using Mechanoluminescence”, Optical MEMS and Nanophotonics 2010, Sapporo Japan, 2010.08.09
51. C.N. Xu (AIST), “Sensing Technology with Elasticoluminescence - Visualizing 'Invisible' Defects in Structures -“, The 3rd International Congress on Ceramics (ICC3), Osaka Japan, 2010.11.17
52. 徐超男(産総研), ”応力発光体を用いた構造物の安全管理モニタリング”, 第 13 回「溶接・表面改質フォーラム」, 香川県, 2010.12.10
53. 徐超男(産総研), ”応力発光体を用いた安全管理センシング技術”, 光産業技術マンスリーセミナー, 東京都, 2010.12.21
54. 徐超男(産総研), ”応力発光体を用いた構造物の安全管理”, 産業技術総合研究所九州ーつくば合同ワークショップ, 佐賀県, 2010.12.24
55. 小野大輔, 徐超男(産総研), ”応力発光センサによる内部欠陥の検出と評価”, 公益財団法人水素エネルギー製品研究試験センター 第 22 年度第 2 回公開セミナー, 福岡県, 2011.02.03
56. 徐超男(産総研), ”応力発光材料とその応用”, 日本化学会第 91 春季年会(2011), 神奈川県, 2011.03.29
57. 徐超男(産総研), ”応力発光技術”, 第 10 回「物質と光作用」領域会議特別講演会, 佐賀県, 2011.05.13

58. C.N. Xu (AIST), "Development of mechanoluminescence technology for diagnosis", The 11th International Meeting on Information Display, Seoul Korea, 2011.10.14
59. Y. Kawabata, M. Iwanami, E. Kato, T. Nishida (PARI), C. N. Xu (AIST), "Applicability of Mechanoluminescent Film Sensor to Inspection Tool for Integrated Maintenance of Port Structure", International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
60. S. Watanabe (HyTReC), S. Guo, D. Ono, C.S. Li, C.N. Xu (AIST), "Prediction of the Fatigue Fracture for Pressure Vessel by Mechanoluminescence Sensor", International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
61. M. Kawai (KEK), M. Futakawa, T. Naoe (JAEA), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), "Measurement of material strain change due to SHPB impact with a mechanoluminescent material", International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
62. H. Yamada (AIST), "Current development of mechanoluminescent materials for advanced measurement technique", International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
63. L. H. Ichinose (日本工業試験所), K. Yasuda (ニュージエック), N. Terasaki, Y. Sakata, L. Zhang, S. Guo, C.S. Li, C.N. Xu (AIST), "Application of mechano-luminescent sensor in the detection of damages in steel bridge", International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
64. K. Hyodo, C.N. Xu (AIST), Y. Terasawa (Kyushu Univ.), H. Sugaya, K. Fukuda, H. Mishima, S. Miyakawa (Tsukuba Univ.), "Biomechanical optical imaging", International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
65. H.W. Zhang (IUE), C.N. Xu, N. Terasaki, H. Yamada (AIST), "The effect of crystal structure and trapped electrons on mechanoluminescent properties of  $\text{Sr}_2\text{SiO}_4:\text{Eu}$ ", International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
66. 徐超男 (産総研), "応力発光材料の開発", 2011年度後期物性研究所短期研究会「エネルギー変換の物性科学」, 千葉県, 2011.11.15
67. N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), "Mechanoluminescent nano-light source", International workshop in Changwon National University, Changwon, Korea, 2012.01.10
68. 寺崎正、徐超男 (産総研), "無機-有機ハイブリッド応力発光材料とその応用展開", 日本化学会第92春季年会, 神奈川県, 2012.03.25

② 口頭発表 (国内会議 72 件、国際会議 51 件)

1. 古賀淑哲, 坂井一文, 前原賞子, 今井祐介, 寺崎正, 徐超男(産総研), "AFMによる結晶粒の破壊及び非破壊発光の観察", ナノテク部会, 佐賀県, 2006.10.06
2. 西久保桂子, 徐超男, 安達芳雄, 今井祐介(産総研), 重野雅之(大光炉材), "大量調製における応力発光の特性評価", 実環境計測・診断システム協議会秋季講演, 福岡県, 2006.10.20
3. Chen H (Deakin Univ.), Chen Y (Tokyo Univ.), Liu Y (ANU), C.N. Xu (AIST), Williams J.S. (ANU), "Optical properties of BN nanotubes", International Conference on Nanoscience and Nanotechnology, Korea, 2006.11.8
4. 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, 安達芳雄, 西久保桂子, 徐超男(産総研), "応力発光材料を用いた応力分布の可視化", 第二回学際領域における分子イメージングフォーラム, 東京都, 2006.11.16
5. T. Koga, K. Sakai, S. Maehara, N. Terasaki, Y. Imai, C.N. Xu (AIST), "Measurement of mechanically induced luminescence from microparticles", Smart Materials, Nano- and Micro-Smart Systems, Australia, 2006.12.11
6. 山田浩志, 付曉燕, 徐超男(産総研), "応力発光体  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$ 膜の摩擦発光", 第54回応用物理学関係連合講演会, 東京都, 2007.03.28
7. X. Fu, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), "Effects of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  homo-buffer layer on  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$  phosphors film grown on glass by RF sputtering", The Fifth China International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-5), Changsha China, 2007.05.10
8. H. Zhang, H. Yamada, N. Terasaki, C.N. Xu (AIST), "Blue-greenish light emission from

- stress-activated  $\text{SrCaMgSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{2+}$ ", The Fifth China International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-5), Changsha China, 2007.05.12
9. C.Z. Li, Y. Adachi, Y. Imai, K. Nishikubo, C.N. Xu (AIST), "Elastico-luminescent nanoparticles prepared via polymer-coated precursor formed in reverse micelles", The Fifth China International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-5), Changsha China, 2007.05.12
  10. L. Zhang (Kyushu Univ.), H. Yamada, Y. Imai, C.N. Xu (AIST), "Development of a novel elasticoluminescent material with calcium aluminosilicate", The Fifth China International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-5), Changsha China, 2007.05.12
  11. C.S. Li (Kyushu Univ.), C.N. Xu, H. Yamada, Y. Imai, H. Zhang (AIST), L. Zhang (Kyushu University), "A novel technique for viewing stress distribution with mechanoluminescence materials", The Fifth China International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-5), Changsha China, 2007.05.12
  12. H. Yamada, X. Fu, C.N. Xu (AIST), "Triboluminescence of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  film on alumina plate prepared by the RF magnetron sputtering process", The Fifth China International Conference on High-Performance Ceramics (CICC-5), Changsha China, 2007.05.12
  13. 寺崎正, 坂井一文, 古賀淑哲, 李承周, 今井祐介, 山田浩志, 安達芳雄, 西久保桂子, 徐超男(産総研), "AFMを用いた単一応力発光ナノ粒子の発光評価", ナノ学会第5回大会, 茨城県, 2007.05.21
  14. 汪文学, 松原監壯, 高雄善裕 (九大), 今井祐介, 徐超男 (産総研), "応力発光材料による構造の応力分布の評価", 第49回構造強度に関する講演会, 福島県, 2007.07.25
  15. 今井祐介, 李承周, 寺崎正, 坂井一文, 徐超男(産総研), "応力発光性無機ナノ粒子の研究開発", KFC 産学官技術交流会, 熊本県, 2007.08.10
  16. 張琳(九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), "カルシウムアルミノケイ酸塩を用いた青色応力発光体の開発", 日本セラミックス協会第20回秋季シンポジウム, 愛知県, 2007.09.12
  17. 山田浩志, 徐超男(産総研), "第一原理計算による応力発光体  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  の機械特性の評価", 日本セラミックス協会第20回秋季シンポジウム, 愛知県, 2007.09.12
  18. 鳥井岳人(九大), 徐超男, 山田浩志, 今井祐介, 寺崎正, 安達芳雄, 西久保桂子(産総研), "共添加による新規赤色応力発光現象の発現", 日本セラミックス協会第20回秋季シンポジウム, 愛知県, 2007.09.12
  19. C.S. Li (Kyushu Univ.), C.N. Xu (AIST), L. Zhang (Kyushu Univ.), H. Yamada, Y. Imai(AIST), "Dynamic visualization of stress distribution on metal surface by mechanoluminescence image", Second International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics '07-OSAKA, Osaka, 2007.09.23
  20. 寺崎正, 坂井一文, 古賀淑哲, 李承周, 今井祐介, 山田浩志, 安達芳雄, 西久保桂子, 徐超男(産総研), "原子間力顕微鏡を用いた単一応力発光ナノ粒子の発光評価", 光化学討論会, 長野県, 2007.09.26
  21. 李晨姝(九大), 徐超男(産総研), 張琳(九大), 山田浩志, 今井祐介(産総研), "リアルタイム応力分布の可視化", 第27回エレクトロセラミックス研究討論会, 東京都, 2007.10.19
  22. H. Yamada, X. Fu, C.N. Xu (AIST), "Structural and mechanical properties of mechanoluminescent film  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  fabricated by RF magnetron sputtering", 7th Pacific Rim Conference on Ceramic and Glass Technology (PacRim7), Shanghai China, 2007.11.14
  23. 山田浩志, 徐超男 (産総研), "第一原理計算による応力発光母体  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  の自発歪みに対する構造安定性評価", 日本セラミックス協会 2008 年年会, 新潟県, 2008.03.20
  24. 鳥井岳人(九大), 安達芳雄, 山田浩志, 今井祐介, 寺崎正, 西久保桂子, 徐超男(産総研), "ZnS 系発光体の特異な発光現象", 電気化学会第75回大会, 山梨県, 2008.03.31
  25. W.X. Wang, T. Matsubara, Y. Takao (Kyushu Univ.), Y. Imai, C.N. Xu (AIST), "Visualization of stress distribution using smart mechanoluminescence sensor", The 6th International Forum on Advanced Material Science and Technology (IFAMST), Hong Kong China, 2008.06.13
  26. 今井祐介(産総研), 李晨姝(九大), 徐超男(産総研), "組合せ負荷条件下での応力発光塗膜の発光特性", 日本実験力学会 2008 年度年次講演会, 北海道, 2008.06.30
  27. H. Zhang, N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), "Blue light emission from stress-activated  $\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{2+}$ ", The 5th International Conference on Advanced Materials and Processing

- (ICAMP-5), Harbin China, 2008.09.03
28. N. Terasaki, H. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, C.N. Xu (AIST), “Hybrid material consisting of mechanoluminescent material and photocatalytic  $\text{TiO}_2$ ”, The 5th International Conference on Advanced Materials and Processing (ICAMP-5), Harbin China, 2008.09.04
  29. C.S. Li (Kyushu Univ.), C.N. Xu, Y. Imai (AIST), W.X Wang, L. Zhang (Kyushu University), H. Yamada, N. Bu (AIST), “Real-time monitoring of dynamic stress concentration by mechanoluminescent sensing film”, 6th BSSM International Conference on Advances in Experimental Mechanics, U.K., 2008.09.11
  30. 寺崎正, 徐超男(産総研), ”光感光材料による応力発光の積算記録”, 2008 年光化学討論会, 大阪府, 2008.09.13
  31. 山田浩志, 付曉燕, 徐超男(産総研), ”結晶軸配向制御による応力発光センサの高輝度化”, 日本セラミックス協会第 21 回秋季シンポジウム, 福岡県, 2008.09.18
  32. 小島正照 (九大), 徐超男, 山田浩志, 今井祐介, 寺崎正, 安達芳雄, 西久保桂子(産総研), ”リン酸塩を母体とする新規応力発光体の開発”, 日本セラミックス協会第 21 回秋季シンポジウム, 福岡県, 2008.09.18
  33. W.X. Wang, T. Matsubara, Y. Takao (Kyushu Univ.), Y. Imai, C.N. Xu (AIST), “Effects of strain rate on the light intensity of mechanoluminescence strain sensor”, KAIST-Kyushu University Joint Seminar 2008, Korea, 2008.09.20
  34. H. Zhang, N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Mechanoluminescence of Europium-doped  $\text{SrAMgSi}_2\text{O}_7$  (A=Ca, Sr, Ba)”, 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2008), Ibaragi Japan, 2008.09.24
  35. N. Terasaki, C.N. Xu (AIST), “Integration recording system of mechanoluminescence from europium-doped  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  by using photo sensitive material”, 2008 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2008), Ibaragi Japan, 2008.09.24
  36. L. Zhang (Kyushu University), C.N. Xu, H. Yamada (AIST), “Upgrade Mechanoluminescence by  $\text{Sr}^{2+}$  Substitution in  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8: \text{Eu}^{2+}$ ”, The 6th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-6), Ibaragi Japan, 2008.10.23
  37. X. Fu, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Mechanoluminescence of highly oriented  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}$  film and its role as a stress indicator”, The 6th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-6), Ibaragi Japan, 2008.10.23
  38. W.X. Wang, T. Matsubara, Y. Takao (Kyushu Univ.), Y. Imai, C.N. Xu (AIST), “Smart strain sensor using  $\text{SrAl}_2\text{O}_4: \text{Eu}$ /Polymer composite film”, The 8th China-Japan Joint Conference on Composite Materials (CJCC-8), Hokkaido Japan, 2008.10.29
  39. 徐超男, 上野直広, 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, 福田修, 卜楠, 安達芳雄, 西久保桂子(産総研), ”応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出”, 戦略的創造研究推進事業 (CREST タイプ) 先進的統合センシング技術研究領域平成 20 年度公開シンポジウム, 東京都, 2008.11.18
  40. H. Zhang, N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Development of mechanoluminescent micro-particles  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_7: \text{Eu}$ ,  $\text{DY}$  and their application in sensors”, 8th International Conference on Nano-Molecular Electronics (ICNME2008), Hyogo Japan, 2008.12.17
  41. 兵藤行志, 徐超男, 三島初 (産総研), ”硬組織解析への応力発光法の応用—熱弾性応力測定法との比較—”, 日本機械学会第 21 回バイオエンジニアリング講演会, 北海道, 2009.01.23
  42. 佐々木実, 熊谷慎也, 青沼拓朗, 上野明(豊田工大), 徐超男(産総研), ”機器のヘルスマニタリング用 MEMS センサについての考察”, 交通・電気鉄道/フィジカルセンサ合同研究会, 愛知県, 2009.02.04
  43. 松尾孟, 池田賢一, 波多聰, 中島英治(九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), ” $\text{SrAl}_2\text{O}_4$  系応力発光材に導入された面欠陥の透過型電子顕微鏡観察”, 第 34 回セラミックスに関する顕微鏡写真展, 千葉県, 2009.03.16
  44. 松尾孟, 池田賢一, 波多聰, 中島英治 (九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), ”応力発光材料  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  における双晶界面の高分解能電子顕微鏡観察”, 日本金属学会 2009 年春季大会, 東京都, 2009.03.29
  45. 川合將義, 岩瀬広 (KEK), 前田英己(東北大), 徐超男 (AIST), 二川正敏 (JEA), “応力

- 発光材の発光特性に及ぼすイオンビーム照射影響”, 平成20年度HIMAC 共同利用実験成果報告会, 千葉県, 2009.04.13
46. 福田修, 上野直広, 卜楠, 今井祐介, 徐超男(産総研), ”ニューラルネットを利用した応力発光塗膜センサのモデリング”, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 福岡県, 2009.05.24
  47. C.S. Li (Kyushu Univ.), C.N. Xu, Y. Imai, N. Bu (AIST), “Dynamic and full-field deformation measurement by mechanoluminescence sensing film”, The Second International Conference on Smart Materials and Nanotechnology in Engineering (SMN2009), Weihai China, 2009.07.10
  48. H. Zhang, N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Design of new mechanoluminescent devices with various colors”, International Conference on Nanoscience & Technology (Chinanano 2009), Beijing China, 2009.09.02
  49. N. Terasaki, H. Zhang, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Mechanoluminescent light source for a fluorescent probe molecule of bio-imaging”, International Conference on Nanoscience & Technology (Chinanano 2009), Beijing China, 2009.09.03
  50. 李承周, 徐超男, 安達芳雄, 上野直広(産総研), ”応力発光型塗膜センサーを用いたボルトの軸力計測”, 日本セラミックス協会第22回秋季シンポジウム, 愛媛県, 2009.09.16
  51. 寺澤佑仁(九大), 安達芳雄, 山田浩志(産総研), 劉芸(Australian National University), 徐超男(産総研), ”近赤外発光を目指した新規応力発光セラミックスの開発”, 日本セラミックス協会第22回秋季シンポジウム, 愛媛県, 2009.09.16
  52. 寺崎正, 張洪武, 山田浩志, 徐超男(産総研), ”バイオイメージング用蛍光プローブに対する応力発光光源”, 2009年光化学討論会, 群馬県, 2009.09.16
  53. 志賀元泰, 李晨姝(九大), 百田理恵, 今井祐介, 徐超男(産総研), ”応力発光セラミックス SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu の特異な発光履歴現象の発見”, 日本セラミックス協会第22回秋季シンポジウム, 愛媛県, 2009.09.17
  54. 徐超男, 上野直広, 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, 福田修, 卜楠, 安達芳雄, 西久保桂子(産総研), ”応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出”, 「先進的統合センシング技術」領域 平成21年度公開シンポジウム, 東京都, 2009.11.10
  55. 小野大輔, 李承周, 卜楠, 徐超男(産総研), ”応力発光体を用いた配管内欠陥の可視化”, 第5回学際領域における分子イメージングフォーラム, 東京都, 2009.11.10
  56. W.X. Wang (Kyushu Univ.), Y. Imai (AIST), T. Matsubara, Y. TAKAO (Kyushu Univ.), C.N. Xu (AIST), “A New Damage Detecting Method Using Smart Mechanoluminescence Sensor”, The 6th Asian-Pacific Conference on Aerospace Technology and Science, Huangshan China, 2009.11.18
  57. C.Z. Li, C.N. Xu, Y. Adachi, N. Ueno (AIST), “Elastico-luminescence from SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu film for real-time detection of axial force during bolt tightening”, 4th International Conference on Experimental Mechanics 2009 (ICEM2009), Singapore, 2009.11.19
  58. Y. Imai, C.N. Xu (AIST), W. X. Wang (Kyushu Univ.), “Evaluation of stress concentration near the crack tip using mechanoluminescent coating”, The 4th International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics, Niigata Japan, 2009.11.28
  59. D. Ono, C.Z. Li, C.N. Xu (AIST), “Visualization of internal defect of a pipe using mechanoluminescence material”, The 4th International Symposium on Advanced Fluid/Solid Science and Technology in Experimental Mechanics, Niigata Japan, 2009.11.28
  60. 李承周, 徐超男, 安達芳雄, 上野直広(産総研), ”応力発光型塗膜センサーを用いたボルトの軸力計測—安全な締め付け管理に向けて”, 第8回評価・診断に関するシンポジウム, 石川県, 2009.12.09
  61. 李晨姝, 徐超男, 今井祐介(産総研), ”応力発光センシング膜を用いた内壁欠陥の存在とその危険レベルの同時検出”, 第24回信頼性シンポジウム—安心・安全を支える信頼性工学の新发展, 大阪府, 2009.12.10
  62. 椿井正義(産総研), 坂井寛, 辻卓則(株)ロジカルプロダクト, 上野直広, 徐超男(産総研), ”応力発光センサを用いた応力分布計測システムの開発”, 第10回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 東京都, 2009.12.25
  63. 寺崎正, 徐超男, 山田浩志(産総研), ”超音波照射による応力発光”, 第4回ナノバイオデバ



イス・ワークショップ，茨城県，2010.01.15

64. 山田浩志，徐超男，付曉燕(産総研)，詹天卓，寺澤佑仁(九大)，川合勝義，岩瀬広(KEK)，”高速重イオン粒子線照射による SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu、Ho の残光特性の向上”，日本セラミックス協会 2010 年年会，東京都，2010.03.22
65. 志賀元泰(九大)，李晨姝，百田理恵，今井祐介，久保正義，徐超男(産総研)，”応力発光現象の応力履歴依存性に対する表面組織構造の影響”，日本セラミックス協会 2010 年年会，東京都，2010.03.22
66. 寺澤佑仁(九大)，安達芳雄，河野陽子，山田浩志，徐超男(産総研)，”線状スペクトルを持つ新規応力発光体の開発”，日本セラミックス協会 2010 年年会，東京都，2010.03.22
67. 松尾孟，池田賢一，波多聰，中島英治(九大)，山田浩志，徐超男(産総研)，”電子顕微鏡を用いた SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> におけるマルテンサイト相の形態観察”，日本金属学会 2010 年春季大会第 60 回金属組織写真展，茨城県，2010.3.28
68. 寺崎正，徐超男，山田浩志(産総研)，”ユビキタス光源としての応力発光体-超音波による応力発光-”，第 90 春季年会講演，大阪府，2010.03.29
69. 川合将義(KEK)，山田浩志(産総研)，寺澤佑仁(九大)，岩瀬広(KEK)，詹天卓(九大)，徐超男(産総研)，二川正敏(JAEA)，菱田俊一(NIMS)，”高度および高輝度 2 次元発光体の発光特性測定”，HIMAC 共同利用実験成果報告会，千葉県，2010.04.19
70. 小野大輔(産総研)，川端雄一郎(港湾研)，李晨姝，李承周，上野直広(産総研)，岩波光保(港湾研)，徐超男(産総研)，”応力発光センサーによるコンクリートのひび割れ進展の可視化”，可視化情報シンポジウム 2010，東京都，2010.07.21
71. 小野大輔，李承周，徐超男(産総研)，”応力発光センサーを用いた配管内部の欠陥の可視化”，可視化情報シンポジウム 2010，東京都，2010.07.21
72. 李晨姝，徐超男，小野大輔，上野直広，川崎悦子(産総研)，”応力発光センサーを用いた鉄筋コンクリートの破壊予測”，日本実験力学会 2010 年度年次講演会，長崎県，2010.08.18
73. 小野大輔(産総研)，川端雄一郎(港湾研)，李晨姝，川崎悦子，上野直広(産総研)，岩波光保(港湾研)，徐超男(産総研)，”応力発光材料を用いたコンクリートのひび割れ検出技術の開発”，日本実験力学会 2010 年度年次講演会，長崎県，2010.08.18
74. 李晨姝，小野大輔，今井祐介，徐超男(産総研)，”応力発光画像を用いた構造物の内壁欠陥とその危険レベルの同時検出”，日本実験力学会 2010 年度年次講演会，長崎県，2010.08.19
75. 寺崎正，徐超男，李承周，椿井正義，安達芳雄，上野直広(産総研)，”応力発光体を用いた建物の安全管理モニタリング”，日本土木学会第 65 回年次学術講演会，北海道，2010.09.02
76. 李晨姝(産総研)，川端雄一郎(港湾研)，徐超男，小野大輔，李承周(産総研)，岩波光保(港湾研)，上野直広，椿井正義，川崎悦子(産総研)，”応力発光センサーを用いた鉄筋コンクリートの破壊予測の検討”，日本土木学会第 65 回年次学術講演会，北海道，2010.09.02
77. 川端雄一郎(港湾研)，小野大輔，李晨姝(産総研)，岩波光保(港湾研)，徐超男(産総研)，”暗視野下におけるコンクリートのひび割れ検出への応力発光センサの適用”，日本土木学会第 65 回年次学術講演会，北海道，2010.09.02
78. 篠川俊夫(大成基礎設計)，徐超男，寺崎正，上野直広，安達芳雄，李承周，小野大輔，椿井正義(産総研)，竹村貴人(日大)，”応力発光体を用いた実橋梁ひずみ計測実験”，日本土木学会第 65 回年次学術講演会，北海道，2010.09.02
79. 寺崎正，山田浩志，徐超男(産総研)，”ユビキタス光源としての応力発光体-超音波による応力発光-”，2010 年光化学討論会，千葉県，2010.09.10
80. 川合将義，岩瀬広(KEK)，山田浩志，徐超男(産総研)，寺澤佑仁，詹天卓(九大)，”イオンビームプロファイルモニターへの応力発光材の適用性評価”，日本原子力学会 2010 年秋の大会，北海道，2010.09.16
81. N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Ultrasonic wave induced mechanoluminescence”, 2010 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM2010), Tokyo Japan, 2010.09.23
82. 直江崇，二川正敏(JAEA)，川合将義(KEK)，徐超男(産総研)，”応力発光体による衝撃特

- 性評価”, 応力・ひずみ測定部門講演会, 茨城県, 2010.10.01
83. 上村直(九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), “リン酸塩を母体とした高強度応力発光体の開発”, 2010 年日本化学会西日本大会, 熊本県, 2010.11.06
  84. 徐超男, 上野直広, 山田浩志, 寺崎正, 小野大輔, 李晨姝 (産総研), “応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出”, 先進的統合センシング技術研究領域平成 22 年度公開シンポジウム, 東京都, 2010.11.09
  85. L. Zhang, C.N. Xu, H. Yamada (AIST), “Strong Mechanoluminescence from Oxynitridosilicate Phosphors”, The 3rd International Congress on Ceramics (ICC3), Osaka Japan, 2010.11.17
  86. 寺崎正, 山田浩志, 徐超男(産総研), “応力発光ユビキタス光源による光触媒駆動”, 第 29 回固体・表面光化学討論会, 福岡県, 2010.11.26
  87. 上野直広, 寺崎正, 徐超男(産総研), “応力発光パターンによる構造物の異常検出”, 第 11 回SICEシステムインテグレーション部門講演会, 宮城県, 2010.12.24
  88. 寺崎正, 徐超男, 山田浩志, 上野直広, 二宮正晴(産総研), “応力発光センサー”, nanotech2011 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議, 東京都, 2011.02.17
  89. 寺澤佑仁(九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), “近赤外発光する新規応力発光体の開発”, 日本セラミックス協会 2011 年年会, 静岡県, 2011.03.18
  90. 上村直(九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), “リン酸塩を母体とした高強度応力発光体”, 日本セラミックス協会 2011 年年会, 静岡県, 2011.03.18
  91. 寺澤佑仁(九大), 兵藤行志, 徐超男(産総研), “応力発光体を用いた模擬大腿骨の表面応力分布の可視化”, 日本実験力学学会 2011 年度(学会創立 10 周年記念)年次講演会, 奈良県, 2011.09.01
  92. 篠川俊夫, 青木俊朗(大成基礎設計), 徐超男, 寺崎正, 上野直広, 小野大輔, 李晨姝, 張琳, 川崎悦子(産総研), 辻卓則, 坂井寛(ロジカルプロダクト), “応力発光体によるひずみ計測遠隔モニタリング実験”, 平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 愛媛県, 2011.09.07
  93. 寺崎正, 徐超男, 小野大輔, 李晨姝, 張琳, 郭樹強, 上野直広(産総研), “応力発光モニタリングによる改修工事の影響評価”, 平成 23 年度全国大会第 66 回年次学術講演会, 愛媛県, 2011.09.07
  94. S. Guo, C.N. Xu, D. Ono (AIST), “Diagnosis of Internal Defect of a Pipe by Mechanoluminescent Sensor”, The 8th International Workshop on Structural Health Monitoring-2011, U.S.A, 2011.09.13
  95. 一瀬伯子ルイザ(株式会社日本工業試験所), 寺崎正, 坂田義太朗, 張琳, 李晨姝, 徐超男(産総研), “道路分科報告 1 橋梁 WG1(鳥飼大橋の調査報告)”, 公共土木施設の維持管理に関する研究委員会中間報告会, 大阪府, 2011.09.15
  96. 川合將義(KEK), 二川正敏, 直江崇(JAEA), 山田浩志, 徐超男(産総研), “応力発光材による SHPB 衝撃材料の歪み現象の定量測定”, 日本原子力学学会 2011 年秋の大会, 福岡県, 2011.09.20
  97. S.Kaminura (Kyushu Univ.), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Development of new elasticoluminescence material  $\text{SrMg}_2(\text{PO}_4)_2:\text{Eu}$ ”, 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, Boston U.S.A, 2011.10.10
  98. Y. Terasawa (Kyushu Univ.), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Near Infra-Red Mechanoluminescence by the Energy Transfer from  $\text{Eu}^{2+}$  to  $\text{Er}^{3+}$  Ions”, 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, Boston U.S.A, 2011.10.10
  99. T.Z. Zhan (Kyushu Univ.), C.N. Xu, H. Yamada (AIST), Y. Terasawa (Kyushu Univ.), L. Zhang (AIST), H. Iwase, M. Kawai (KEK), “Remarkable Enhancement of Swift Heavy Ion Irradiation on  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  Afterglow”, 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, Boston U.S.A, 2011.10.10
  100. H. Yamada, C.N. Xu (AIST), S.Matsushima, M.Arai (KCT), “Energy level of europium ion in strontium aluminate phosphor by density functional calculation”, 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, Boston U.S.A, 2011.10.10
  101. N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Ultrasonic wave induced mechanoluminescence”, 220th ECS

- Meeting and Electrochemical Energy Summit, Boston U.S.A, 2011.10.12
102. C.S Li, D. Ono, N. Ueno (AIST), Y. Kawabata (PARI), “Fracture prediction in reinforced concrete using mechanoluminescent sensor”, The 6th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, Osaka Japan, 2011.11.04
  103. 徐超男, 上野直広, 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, 福田修, 卜楠, 安達芳雄, 西久保桂子 (産総研), “応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出”, 戦略的創造研究推進事業(CREST タイプ) 先進的統合センシング技術研究領域平成 23 年度公開シンポジウム, 東京都, 2011.11.09
  104. W. Liu, T. Nagatake, K. Takase (JAEA), C.X. Wu (Kyushu Univ.) , D. Ono, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Evaluation of thermal stress distribution with elasticoluminescent materials”, 8th International Conference on Flow Dynamics, Miyagi Japan, 2011.11.10
  105. C.S. Li (AIST), “Real-time detection and evaluation of damage in concrete structure using mechanoluminescent sensor”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
  106. N. Terasaki, C.S. Li, L. Zhang, S. Guo, Y. Sakata, D. Ono, M. Tsubai, N. Bu, Y. Imai, Y. Adachi, H. Yamada, N. Ueno, C.N. Xu (AIST) , “Application Examples of Mechanoluminescent Diagnostic Technique”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
  107. H. Yamada (AIST), “Current development of mechanoluminescent materials for advanced measurement technique”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
  108. C.N. Xu (AIST), “The Creation of Safety Monitoring Network Systems by Mechanoluminescence Sensors”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
  109. T. Shinokawa (アサノ大成基礎エンジニアリング), “Applicability and Problems of Monitoring Techniques using Elastico-Luminescent Materials in Civil Engineering”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
  110. H. Matsuo(新日本製鐵), H. Yamada, C.N. Xu(AIST), “Microstructure and pseudoelastic deformation in  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ ”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
  111. L. Zhang, C.N. Xu, H. Yamada (AIST), “A Novel Multifunctional Phosphors With Water Resistance”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11
  112. T. Watari, S. Matsubara, T. Torikai, M. Yada (Saga Univ.), C.N. Xu, N. Terasaki (AIST), “Preparation of  $\text{Sr}_2\text{MgSi}_2\text{O}_7:\text{Eu}^{3+}/\text{Dy}^{3+}$  Phosphor”, The 28th Japan-Korea International Seminar on Ceramics, Okayama Japan, 2011.11.25
  113. N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Ultrasonic wave induced mechanoluminescence”, The 5th China-Japan Workshop on Environmental Catalysis and Eco-materials, China, 2011.11.29
  114. 保田敬一(ニュージェック), 一ノ瀬伯子ルイザ(株式会社日本工業試験所), 張琳, 李晨姝, 寺崎正, 坂田義太朗, 徐超男(産総研), “応力発光体を用いた鋼製橋梁部材の変状検出”, 平成 23 年度日本設備管理学会秋季研究発表大会/第 3 回検査・評価・保全に関する連携講演会, 大阪府, 2011.12.16
  115. 上野直広, 郭樹強, 徐超男(産総研), “応力発光体を用いた圧力容器検査における亀裂パターンの分離”, 第12回SICEシステムインテグレーション部門講演会, 京都府, 2011.12.25
  116. N. Terasaki, C.N. Xu, C.S. Li, L. Zhang (AIST), “Active Crack Indicator with Mechanoluminescent sensing technique”, 2012 IEEE Sensors Applications Symposium , Italy, 2012.02.08
  117. S. Guo, C.N. Xu, D. Ono, C.S. Li, Y. Sakata (AIST), S. Watanabe(HyTReC), “Visualization of the Fatigue Crack for Pressure Vessel by Mechanoluminescence Sensor”, 2012 IEEE Sensors Applications Symposium , Italy, 2012.02.08
  118. N. Terasaki, C.N. Xu, C.Z. Li, L. Zhang, D. Ono, M. Tsubai, Y. Adachi (AIST), T. Shinokawa, (アサノ大成基礎エンジニアリング), Y. Imai, N. Ueno (AIST), “Visualization of active crack on bridge in use by mechanoluminescent sensor”, SPIE Smart Structures/NDE, USA, 2012.03.14

119. T.Z. Zhan (Kyushu Univ.), C.N. Xu, H. Yamada, Y. Terasawa, L. Zhang (AIST), H. Iwase, M. Kawai (KEK), "Enhancement of impact-induced mechanoluminescence for structural health monitoring using swift heavy ion irradiation", SPIE Smart Structures/NDE, USA, 2012.03.15
120. 上村直 (九大), 山田浩志, 徐超男 (産総研), "Ruddlesden-Popper 型ペロブスカイト構造を有する  $\text{Sr}_{n+1}\text{Sn}_n\text{O}_{3n+1}:\text{Sm}^{3+}$  ( $n=1, 2, \infty$ ) の応力発光増大現象", 2012 年春季 第 59 回 応用物理学関連連合講演会, 東京都, 2012.03.16
121. 上村直 (九大), 山田浩志, 徐超男 (産総研), "層状ペロブスカイト構造  $\text{Sr}_3\text{Sn}_2\text{O}_7:\text{Sm}^{3+}$  における応力発光機能の発現", 日本セラミックス協会 2012 年 年会, 京都府, 2012.03.20
122. 寺崎正, 山田浩志, 徐超男 (AIST), "単一応力発光粒子の光源としての特性評価", 日本化学会第 92 春季年会, 神奈川県, 2012.03.26
123. 寺澤佑仁 (九大), 徐超男, 山田浩志 (AIST), 上村直 (九大), 張琳 (AIST), "ダウンコンバージョンを利用した近赤外応力発光体の開発", 電気化学会第 79 回大会, 静岡県, 2012.03.31

③ポスター発表 (国内会議 23 件、国際会議 45 件)

1. N. Terasaki, K. Sakai, T. Koga, C.Z. Li, Y. Imai, H. Yamada, Y. Adachi, K. Nishikubo, C.N. Xu (AIST), "Mechanoluminescence studies upon single nanoparticle by AFM-photo measurement system", 2006 MRS fall meeting, U.S.A, 2006.12.01
2. 寺崎正, 張洪武, 今井祐介, 山田浩志, 徐超男(産総研), "応力発光体と光触媒による複合材料", 日本化学会第 87 春季年会, 兵庫県, 2007.03.25
3. 寺崎正, 坂井一文, 古賀淑哲, 李承周, 今井祐介, 山田浩志, 安達芳雄, 西久保桂子, 徐超男(産総研), "AFMを用いた単一応力発光ナノ粒子の発光評価", ナノ学会第 5 回大会, 茨城県, 2007.05.21
4. 鳥井岳人(九大), 徐超男, 山田浩志, 今井祐介, 寺崎正, 安達芳雄, 西久保桂子(産総研), "赤色応力発光体  $\text{ZnS}:\text{Mn}, \text{Te}$  の開発", 第 44 回化学関連支部合同九州大会, 福岡県, 2007.07.07
5. 寺崎正, 張洪武, 今井祐介, 山田浩志, 徐超男(産総研), "応力発光体と光触媒による複合材料", 光化学討論会, 長野県, 2007.09.27
6. 付曉燕, 山田浩志, 徐超男(産総研), "Fabrication of Triboluminescent film on Inconel 600 substrate by RF magnetron sputtering method", 第 27 回エレクトロセラミックス研究討論会, 東京都, 2007.10.18
7. 張洪武, 山田浩志, 寺崎正, 徐超男(産総研), "New Mechanoluminescent Materials with Various Colors", 第 27 回エレクトロセラミックス研究討論会, 東京都, 2007.10.19
8. 張琳, 李晨姝(九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), "カルシウムアルミノケイ酸塩を用いた青色応力発光体の開発", 第 27 回エレクトロセラミックス研究討論会, 東京都, 2007.10.19
9. 鳥井岳人(九大), 張洪武, 山田浩志, 今井祐介, 寺崎正, 徐超男(産総研), "赤色応力発光体  $\text{ZnS}:\text{Mn}, \text{Te}$  における湿式合成による応力発光増強効果", 第 27 回エレクトロセラミックス研究討論会, 東京都, 2007.10.19
10. 張琳, 李晨姝(九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), "カルシウムアルミノケイ酸塩を用いた青色応力発光体の開発", 第 10 回連携大学院産学官交流セミナー, 佐賀県, 2008.02.01
11. 鳥井岳人(九大), 張洪武, 山田浩志, 今井祐介, 寺崎正, 徐超男(産総研), "赤色応力発光体  $\text{ZnS}:\text{Mn}, \text{Te}$  における湿式合成による応力発光増強効果", 第 10 回連携大学院産学官交流セミナー, 佐賀県, 2008.02.01
12. 徐超男, 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, 安達芳雄, 西久保桂子, 上野直広, 福田修, 卜楠(産総研), "応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出", 平成 19 年度産業技術総合研究所九州センター研究講演会, 福岡県, 2008.02.08
13. 山田浩志, 付曉燕, 西久保桂子, 徐超男(産総研), "電磁環境適合性を有する圧力検知用自立応答型センサ素子の創製", 平成 19 年度産業技術総合研究所九州センター研究講演会, 福岡県, 2008.02.08
14. 李承周, 徐超男, 安達芳雄, 山田浩志, 西久保桂子(産総研), "遷移金属添加による応力発光強度の向上", 日本セラミックス協会 2008 年年会, 新潟県, 2008.03.21

15. 寺崎正, 張洪武, 山田浩志, 今井祐介, 徐超男(産総研), ”応力発光体と光触媒による複合材料—ユビキタス光源としての応力発光体—”, ナノ学会第6回大会, 福岡県, 2008.05.07
16. L. Zhang (Kyushu Univ.), H. Yamada, C.N. Xu, N. Bu (AIST), “Multifunctional performance of europium-doped feldspar ceramics”, International Conference on Multifunctional Materials and Structures (MFMS2008), China, 2008.07.30
17. N. Terasaki, H. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, C.N. Xu (AIST), “Hybrid material consisting of mechanoluminescent material and TiO<sub>2</sub> photocatalyst”, 8th International Conference on Nano-Molecular Electronics (ICNME2008), Hyogo Japan, 2008.12.18
18. 兵藤行志, 野中勝信, 徐超男, 三島初, 宮川俊平(産総研), ”光バイオメカニカルイメージング—模擬骨表面応力解析への適用—”, 第8回産総研・産技連LS-BT合同研究発表会, 茨城県, 2009.01.29
19. 山田浩志, 付曉燕, 徐超男(産総研), ”電磁環境適合性を有する自立応答型センサ素子の創製”, 平成20年度産業技術総合研究所九州センター研究講演会, 福岡県, 2009.02.20
20. 寺澤佑仁(九大), 安達芳雄, 山田浩志, 徐超男(産総研), ”赤外発光を目指した新規応力発光体の開発”, 第46回化学関連支部合同九州大会, 福岡県, 2009.07.11
21. 志賀元泰, 李晨姝(九大), 百田理恵, 今井祐介, 徐超男(産総研), ”SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu 特異な応力発光履歴現象の発見”, 第46回化学関連支部合同九州大会, 福岡県, 2009.07.11
22. H. Zhang, N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Detection of Stress distribution using Ca<sub>2</sub>MgSi<sub>2</sub>O<sub>7</sub>:Eu, Dy micro-particles”, The 18th International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS-18) and the 14th International Conference on Modulated Semiconductor structures (MSS-14), Hyogo Japan, 2009.07.23
23. 寺崎正, 山田浩志, 徐超男(産総研), “超音波照射による応力発光”, 第18回ソノケミストリー討論会, 新潟県, 2009.10.24
24. N. Bu, N. Ueno, C.N. Xu, O. Fukuda (AIST), “Measurement of weak light emitted from mechanoluminescence materials using Si photodiode and light concentrator”, IEEE Sensors Conference 2009, New Zealand, 2009.10.25
25. 詹天卓(九大), 徐超男, 福田修, 山田浩志, 李晨姝(産総研), ”応力発光薄膜を用いて超音波パワー分布の直接可視化“, 第57回応用物理学関係連合講演会, 神奈川県, 2010.03.19
26. 寺崎正, 山田浩志, 徐超男(産総研), “バイオイメージング用蛍光プローブに対する応力発光光源”, ナノ学会第8回大会, 愛知県, 2010.05.14
27. M. Kawai (KEK), M. Futakawa, T. Naoe (JAEA), C.N. Xu, H. Yamada (AIST), “Measurements of time-dependent stress distributions on material after HP impact”, The Seventh International Symposium on Impact Engineering (ISIE2010), Poland, 2010.07.05
28. 田中敏明, 詹天卓(九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), “応力発光体を用いたひずみ分布の可視化”, 第47回化学関連支部合同九州大会, 福岡県, 2010.07.10
29. 上村直(九大), 山田浩志, 徐超男(産総研), “リン酸塩を母体とした高強度応力発光体の開発”, 第47回化学関連支部合同九州大会, 福岡県, 2010.07.10
30. K. Hyodo, C.N. Xu (AIST), H. Mishima, S. Miyakawa (Tsukuba Univ.), “Optical stress imaging for orthopedic biomechanics - comparison of thermoelastic stress analysis and developed mechanoluminescent method”, 6th World Congress on Biomechanics, Singapore, 2010.08.04
31. Y. Terasawa (Kyushu Univ.), C.N. Xu, H. Yamada, M. Kubo (AIST), “Near Infra-Red Mechanoluminescence from Strontium Alminate Doped with Rare-Earth Ions”, The 3rd International Congress on Ceramics (ICC3), Osaka Japan, 2010.11.16
32. T. Z. Zhan (Kyushu Univ.), C.N. Xu, O. Fukuda, H. Yamada, C.S. Li (AIST), “Mechanoluminescent Film Sensor for Visualizing Ultrasonic Power Distribution”, The 3rd International Congress on Ceramics (ICC3), Osaka Japan, 2010.11.16
33. N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Ultrasonic wave induced mechanoluminescence”, 9th International Conference on Nano-Molecular Electronics, Kobe Japan, 2010.12.14
34. H. Matsuo (Nippon Steel Corporation), K. Ikeda, S. Hata, H. Nakashima (Kyushu Univ.), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Phase transformation behavior and pseudoelastic deformation in SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>”, International Conference on Martensitic Transformations, Osaka Japan, 2011.09.06
35. S. Kaminura (Kyushu Univ.), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Elasticoluminescence mechanism of



- SrMg<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>:Eu”, 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, Boston U.S.A, 2011.10.12
36. T.Z. Zhan (Kyushu Univ.), C.N. Xu, H. Yamada (AIST), Y. Terasawa (Kyushu Univ.), L. Zhang (AIST), H. Iwase, M. Kawai (KEK), “Novel Beam Profile Indicator for Swift Heavy Ions”, 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, Boston U.S.A, 2011.10.12
  37. N. Terasaki, C.N. Xu (AIST), “History recording system of fatigue crack growth based on mechanoluminescent microparticles”, 220th ECS Meeting and Electrochemical Energy Summit, Boston U.S.A, 2011.10.12
  38. N. Terasaki, H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Mechanoluminescent Ubiquitous Nano-Light Source”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  39. N. Terasaki, C.S. Li, L. Zhang, S. Guo, Y. Sakata, D. Ono, M. Tsubai, N. Bu, Y. Imai, H. Yamada, N. Ueno, C.N. Xu (AIST), “Application Examples of Mechanoluminescent Diagnostic Technique”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  40. M. Kawai (KEK), M. Futakawa, T. Naoe (JAEA), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Measurement of material strain change due to SHPB impact with a mechanoluminescent material”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  41. C.S. Li (AIST), “Full-field imaging and evaluation of stress in metal using mechanoluminescence sensing film”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  42. C.S. Li (AIST), “Real-time detection and evaluation of damage in concrete structure using mechanoluminescent sensor”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  43. T. Z. Zhan (Kyushu Univ.) , C.N. Xu, H. Yamada (AIST), Y. Terasawa (Kyushu Univ.), L. Zhang (AIST), H. Iwase, M. Kawai (KEK), “Mechanoluminescent Film Sensor for Visualizing Ultrasonic Power Distribution”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  44. L. Zhang, C.N. Xu, H. Yamada (AIST), “A Novel Multifunctional Phosphors With Water Resistance”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  45. S. Guo (AIST), “Visualization of the Fatigue Crack for Pressure Vessel by Mechanoluminescence Sensor”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  46. S. Yoshitaro, N. Terasaki, L. Zhang, C.S. Li, N. Ueno, C.N. Xu (AIST), “Non-destructive flaw detection of steel truss bridge using mechanoluminescent sensor”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  47. Y. Terasawa (Kyushu Univ.), “Near Infra-Red Mechanoluminescence by the Energy Transfer from Eu<sup>2+</sup> to Er<sup>3+</sup> Ions”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  48. S. Kamimura (Kyushu Univ.), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Strong purple light elasticoluminescence from SrMg<sub>2</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>:Eu<sup>2+</sup>”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  49. Y. Kawabata, M. Iwanami, E. Kato, T. Nishida (PARI), C. N. Xu (AIST) , “Applicability of mechanoluminescent sensor to inspection tool for upgraded maintenance of port structure”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  50. W.X. Wang (Kyushu Univ.), C.S. Li, Y. Sakata, R. Momoda, C.N. Xu (AIST), “Visualization of Stress Concentration around Inclined Crack-Like Notch Using Mechanoluminescence Film Sensor”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
  51. S. Watanabe (HyTRC), S. Guo, D. Ono, C.S. Li, C.N. Xu (AIST) , “Prediction of the Fatigue Fracture for Pressure Vessel by Mechanoluminescence Sensor”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12

52. L. Zhang, C.N. Xu, N. Ueno, Y. Zhang, C.S. Li, H. Yamada (AIST), “A Novel Large Strain Sensor Using  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  / Rubber Composite”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
53. H. Yamada (AIST), “Current development of mechanoluminescent materials for advanced measurement technique”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
54. N. Ueno, C.N. Xu (AIST), “An approach to mechanoluminescent pattern extraction from mechanoluminescent images”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
55. L. H. Ichinose (日本工業試験所), K. Yasuda (ニュージェック), N. Terasaki, Y. Sakata, L. Zhang, S. Guo, C.S. Li, C.N. Xu (AIST), “Application of mechano-luminescent sensor in the detection of damages in steel bridge”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
56. K. Hyodo, C.N. Xu (AIST), Y. Terasawa (Kyushu Univ.), H. Sugaya, K. Fukuda, H. Mishima, S. Miyakawa (Tsukuba Univ.), “Biomechanical optical imaging”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
57. H.W. Zhang (IUE), C.N. Xu, N. Terasaki, H. Yamada (AIST), “The effect of crystal structure and trapped electrons on mechanoluminescent properties of  $\text{Sr}_2\text{SiO}_4:\text{Eu}$ ”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
58. W.X. Wang (Kyushu Univ.), C.S. Li, Y. Sakata, R. Momoda, C.N. Xu (AIST), “Visualization of Stress Concentration around Inclined Crack-Like Notch Using Mechanoluminescence Film Sensor”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
59. T. Shinokawa (アサノ大成基礎エンジニアリング), C.N. Xu (AIST), “Applicability and Problems of Monitoring Techniques using Elastico-Luminescent Materials in Civil Engineering”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
60. Y. Obukuro, S. Matsushima, M. Mizuno (北九州工業高等専門学校), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Effect of Eu Doping on the Electronic Structure of  $\text{SrAl}_2\text{O}_4$ ”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.12
61. S. Kamimura (Kyushu Univ.), H. Yamada, C.N. Xu (AIST), “Strong purple light elasticoluminescence from  $\text{SrMg}_2(\text{PO}_4)_2:\text{Eu}^{2+}$ ”, The 13th Cross Straits Symposium (CSS-13), fukuoka Japan, 2011.11.24
62. T. Matsubara, R. Yamaguchi, T. Watari, T. Torikai, M. Yada (Saga Univ.), C.N. Xu, N. Terasaki (AIST), “Development and Application of New Phosphor”, 第 14 回連携大学院産学官交流セミナー, 佐賀県, 2012.01.23
63. L. Zhang, C.N. Xu, N. Ueno, Y. Zhang, C.S. Li, H. Yamada (AIST), “A Novel Large Strain Sensor Using  $\text{SrAl}_2\text{O}_4:\text{Eu}^{2+}$  / Rubber Composite”, SPIE Smart Structures/NDE, USA, 2012.03.13
64. C.S. Li, C.N. Xu, L. Zhang, N. Ueno, N. Terasaki, Y. Sakata, S. Guo, H. Yamada (AIST), H. Sakai, T. Tsuji (Logical Product), “Development of a novel health remote monitoring system with mechanoluminescence material”, SPIE Smart Structures/NDE, USA, 2012.03.13
65. 森祐介 (九大)、張洪武、山田浩志、徐超男 (産総研), “ $\text{Sr}_2\text{SiO}_4$  の応力発光特性と結晶相の関係”, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 京都府, 2012.03.19
66. 李晨姝、張琳、徐超男 (産総研), “応力発光塗膜センサによる金属の動的塑性不安定現象の全視野可視化”, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 京都府, 2012.03.19
67. 張琳、徐超男、上野直広、張炎、李晨姝、山田浩志 (産総研), “ゴム系マトリックスを用いた応力発光体による大ひずみセンサの開発”, 日本セラミックス協会 2012 年年会, 京都府, 2012.03.19
68. 寺澤佑仁 (九大)、徐超男、山田浩志 (産総研)、上村直 (九大)、張琳 (産総研), “ダウンコンバージョン近赤外応力発光体の開発指針の提案”, 電気化学会第 79 回大会, 静岡県, 2012.03.29

(4)知財出願

①国内出願 (21 件)

1. 紫外線を発光する応力発光材料およびその製造方法、並びにその利用、徐超男・山田浩志、産業技術総合研究所、2007.3.30、特願 2007-090240
2. 構造体の欠陥を検知するための方法及びシステム、徐超男・今井祐介・上野直広、産業技術総合研究所、2007.09.21、特願 2007-246161
3. 応力発光体-光触媒複合体、徐超男・寺崎正・今井祐介・山田浩志・張洪武・河原弘美、産業技術総合研究所、2007.12.14、特願 2007-323959
4. 構造体の欠陥を検知するための方法およびシステム、徐超男・今井祐介・上野直広、産業技術総合研究所、2008.03.19、特願 2008-072068
5. 電子入力装置、上野直広・徐超男・福田修・ト楠、産業技術総合研究所、2008.3.28、特願 2008-87326
6. 応力解析用の被測定物、該被測定物に塗膜層を形成するための塗布液及び応力発光構造体、徐超男・今井祐介・寺崎正・安達芳雄・山田浩志・西久保桂子、産業技術総合研究所、2008.04.02、特願 2007-529517
7. 応力発光材料およびその製造方法、徐超男・張洪武・寺崎正・山田浩志、産業技術総合研究所、2008.04.16
8. 超音波の音圧強度分布の測定方法およびその測定装置、徐超男・福田修・上野直広、産業技術総合研究所、2008.05.20、特願 2008-132334
9. 応力発光体、その製造方法、それを用いた複合材料及びレベルセンサー、李承周・徐超男・安達芳雄・山田浩志・西久保桂子、産業技術総合研究所、2008.5.30、特願 2008-142132
10. 応力履歴記録システム、徐超男・寺崎正・今井祐介・山田浩志、産業技術総合研究所、2008.06.27、特願 2008-505068
11. 応力発光粒子、及び当該粒子を備えた検査装置、並びに当該粒子を用いた検査方法、寺崎正・徐超男・山田浩志、張洪武、産業技術総合研究所、2009.1.22、特願 2009-012410
12. 複層型応力発光積層体、今井祐介・徐超男・林玲子、産業技術総合研究所、2009.2.03、特願 2009-022832
13. 蓄光体及びその製造方法、徐超男・付曉燕・山田浩志、産業技術総合研究所、2009.2.03、特願 2009-022846
14. 応力発光解析装置、応力発光解析方法、応力発光解析プログラムおよび記録媒体、福田修・上野直広・今井祐介・徐超男、産業技術総合研究所、2009.2.20、特願 2009-038306
15. 発光体、及び当該発光体の製造方法、小島正照・徐超男・山田浩志・安達芳雄・西久保桂子・寺崎正・産業技術総合研究所、2009.3.13、特願 2009-061671
16. 超音波の音圧強度分布の測定方法、超音波のエネルギー密度分布を測定する方法およびそれらの測定装置、徐超男・上野直広・福田修、産業技術総合研究所、2009.5.20、特願 2009-122371
17. 発光材料、圧電体、電歪体、強誘電体、電場発光体、応力発光体、及びこれらの製造方法、徐超男・王旭升・山田浩志・西久保桂子、産業技術総合研究所、2009.10.16、特願 2009-239357
18. 留め具およびその利用、徐超男、産業技術総合研究所、2010.01.06、特願 2010-001585
19. 生体骨または模擬骨若しくはそれらに装着する部材の応力分布測定方法および測定部材、兵藤行志・徐超男、産業技術総合研究所、2011.1.26、特願 2011-014227
20. 応力履歴記録システム及び応力履歴記録方法、寺崎正・徐超男、産業技術総合研究所、2011.04.25、特願 2011-097004
21. 応力履歴記録記録方法及び応力履歴システム、寺崎正・徐超男、産業技術総合研究所、2011.04.25、特願 2011-097013

②海外出願 (11 件)

1. Stress and strain analysis method and its equipment, Y. Hyodo・C.N. Xu・T. Yamane・M. Akamatsu・Y. Yokokawa・T. Kameyama, 産業技術総合研究所, 2007.1.19, US 11/655,

- 219, U.S.A
2. Stress history recording system, C.N. Xu・N. Terasaki・Y. Imai・H. Yamada, AIST, 2007.3.6, PCT/JP2007/054310
  3. Stress luminescent material, process for producing the same, composite material containing the stress luminescent material, and matrix structure of the stress luminescent material, C.N. Xu・H. Yamada, AIST, 2007.10.04, US11/887, 837, U.S.A
  4. Stress luminescent material, process for producing the same, composite material containing the stress luminescent material, and matrix structure of the stress luminescent material, C.N. Xu・H. Yamada, AIST, 2007.11.07, EP06731248.8, EP
  5. High-intensity stress luminescent material capable of ultraviolet emission, process for producing the same, and use thereof, C.N. Xu・H. Yamada, AIST, 2007.11.07, EP06731369.2, EP
  6. High-intensity stress luminescent material capable of ultraviolet emission, process for producing the same, and use thereof, C.N. Xu・H. Yamada, AIST, 2007.10.04, US11/887.902, U.S.A
  7. Stress-luminescent material emitting ultraviolet, process for producing the same, and use thereof, C.N. Xu・H. Yamada, AIST, 2008.02.13, PCT/JP2008/52305
  8. Method and system for detecting defect of structure, C.N. Xu・Y. Imai・N. Ueno, AIST, 2008.07.10, PCT/JP2008/062488
  9. Stress history recording system, C.N. Xu・N. Terasaki・Y. Imai・H. Yamada, AIST, 2008.09.08, US12/224, 853, U.S.A
  10. Stress history recording system, C.N. Xu・N. Terasaki・Y. Imai・H. Yamada, AIST, 2008.09.09, CN200780008442.9, China
  11. Stress history recording system, C.N. Xu・N. Terasaki・Y. Imai・H. Yamada, AIST, 2008.10.07, GB 0818344.4, U.K

(5)受賞・報道等

①受賞

1. T. Koga, K. Sakai, S. Maehara, N. Terasaki, Y. Imai, C.N. Xu, “Measurement of mechanically induced luminescence from microparticles”, Best Poster Paper Award, 2006.12
2. 張琳、山田浩志、徐超男、“カルシウムアルミノケイ酸塩を用いた青色応力発光体の開発”, 日本セラミックス協会第20回秋季シンポジウムトピックスに選出, 2007.09.12
3. C.S. Li, C.N. Xu, L. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, “リアルタイム応力分布の可視化 Dynamic visualization of stress distribution by mechanoluminescence image”, 第27回エレクトロセラミックス研究討論会研究奨励賞受賞, 2007.10.19
4. 徐超男, “微細構造制御による新規な応力発光セラミックスの開発”, 第62回(平成19年度)日本セラミックス協会「学術賞」受賞, 2008.5.23
5. N. Terasaki, H. Zhang, H. Yamada, Y. Imai, C.N. Xu, 8th International Conference on Nano-Molecular Electronics (ICNME2008), “Hybrid material consisting of mechanoluminescent material and TiO<sub>2</sub> photocatalyst”, ICNME2008 Outstanding Poster Presentation Award, 2008.12.18
6. 松尾孟, 池田賢一, 波多聰, 中島英治, 山田浩志, 徐超男, “SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>系応力発光材料の微細組織観察”, 日本金属学会2009年春季大会奨励賞, 2009.03.29
7. 松尾孟, 池田賢一, 波多聰, 中島英治, 山田浩志, 徐超男, “SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>系応力発光材に導入された積層欠陥の透過型電子顕微鏡観察”, 第34回セラミックスに関する顕微鏡写真展 優秀賞, 2009.03.16
8. 寺崎正, 山田浩志, 徐超男, 「超音波照射による応力発光」, 平成21年度ソノケミストリー奨励賞受賞, 2009.10.24
9. 川端雄一郎, 小野大輔, 李晨姝, 岩波光保, 徐超男, 「暗視野下におけるコンクリートのひ

び割れ検出への応力発光センサの適用」, 日本土木学会第 65 回年次学術講演会講演優秀賞受賞, 2010.11.10

10. 寺崎正, 山田浩志, 徐超男, 「応力発光ユビキタス光源による光触媒駆動」, 第 29 回固体・表面光化学討論会優秀発表賞受賞, 2010.11.16
11. 上野直広, 小野大輔, 徐超男, “応力発光パターンによる構造物の異常検出”, 第 11 回 公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2010 優秀講演賞, 2010.12.25
12. 寺崎正、徐超男、小野大輔、李晨姝、張琳、郭樹強、上野直広, “応力発光モニタリングによる改修工事の影響評価”, 土木学会平成 23 年度全国大会 第 66 回年次学術講演会, 優秀講演賞受賞, 2011.12.05
13. 寺澤佑仁、徐超男、山田浩志、上村直、張琳, “ダウンコンバージョン近赤外応力発光体の開発指針の提案”, 電気化学会第 79 回大会 ポスター賞受賞, 2012.03.30

## ②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. 日本テレビ「世界一受けたい授業」, 理科-生活が劇的に変わる!これが世界の最先端テクノロジー、2008.03.01 放送
2. 「応力発光材料実用化研究を加速 混合、塗布など形態模索」, 化学工業日報, 2007.04.19
3. 「生産計測技術研究センター設立 応力発光体を世界に先駆け研究開発」, 日刊工業新聞, 2007.9.27
4. 「ハノーバー展で新エネ技術 PR」, 電気新聞, 2008.03.27
5. 朝日新聞社, 月刊「論座」, “「最新!」科学」力が生む光”, Vol.41, 12-14, 2008.8.1
6. プレス発表: 巨大負熱膨張率の発見, 2008.10.20  
零熱膨張率、低熱膨張率或いは負熱膨張率を持つ材料は構造材料、薄膜基板、耐熱被覆材、ガラス&セラミックス&コンクリート等の複合材料にわたって応用のポテンシャルが高い。今まで種々の零熱膨張率、低熱膨張率或いは負熱膨張率材料が発見されているが、我々はナノ粒子が巨大な負熱膨張率をもつことを新たに発見した。
7. プレス発表: 「潜んでいる」危険を、見える化技術の開発ー応力発光体による構造物の異常診断ー、2008.11.14
  - ・ 外観から見ることでできない構造物の異常を、応力発光体を用いてリアルタイムその場で可視化する技術を開発した。
  - ・ 様々な形状をした構造物の不良や疲労亀裂を、初めて形状・場所・進展・応力集中・危険度を同時に見える化実現。
  - ・ パイプラインやタンク、トンネルや橋梁、移動体など多様な構造物の安全管理、品質管理、非破壊検査への応用可能
8. 化学工業日報, “応力発光塗料を開発 車両・建造物非破壊検査など視野”, 3 面, 2008.11.18
9. 日刊建設産業新聞, “構造物の微細な亀裂など可視化/応力発光体を利用 欠陥と危険レベル同時検出”, 2 面, 2008.11.18
10. 電気新聞, “隠れた傷可視化 産総研が新技術 危険レベル把握も”, 1 面, 2008.11.18
11. フジサンケイビジネスアイ, “産総研 構造物の欠陥・危険診断 発光微粒子を塗布、可視化”, 13 面, 2008.11.20
12. 日経産業新聞, “産総研が検査塗料 構造物に塗ると危険な部分発光”, 9 面, 2008.11.21
13. 科学新聞, “構造物欠陥と危険度 同時診断”, 6 面, 2008.11.28
14. 検査機器ニュース, “産総研生産計測技術研究センター微細き裂を応力発光で 可視化と同時に診断も”, 3 面, 2008.12.5
15. 日経コンストラクション, “構造物の見えない欠陥を可視化 構造物に発光塗料を塗って目視で確認可能”, 22-23, 2008.12.26
16. 「産」・「学」・「官」の共同研究取組事例と各研究機関の研究紹介 ヒラメキのタネ, “建物の目に見えない欠陥を検知 光の強さが危険レベルを教える!ー「見えない」危険を可視化する技術の開発”, 21, 2009.09



- 17.「産」・「学」・「官」の共同研究取組事例と各研究機関の研究紹介 ヒラメキのタネ，“新しい高輝度の蛍光体で発光効率UP 液晶・プラズマディスプレイの課題に貢献一次世代ディスプレイ用超微粒子高輝度蛍光体の開発”，5，2009.09
- 18.産総研 2009 研究カタログ，“応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出”，S-17, 263, 2009.10
- 19.プレス発表：応力発光体を用いた安全管理システム、2009.11.09  
橋や建物などの実構造物の安全管理システムとして応用可能な、応力発光によるコンクリートの亀裂の発生予知・分布・進展・変位量を可視化するモニタリングシステムを開発した。
- 20.日刊工業新聞，“コンクリの亀裂発光 産総研など可視化システム開発”，25 面，2009.11.10
- 21.茨城新聞，“コンクリ亀裂状況把握 産総研がシステム開発ビル、橋点検に応用”，20 面，2009.11.10
- 22.電気新聞，“産総研などが新システム 応力発光体利用し亀裂などを可視化”，5 面，2009.11.12
- 23.フジサンケイビジネスアイ，“産総研など応力を光でモニタリング 構造物の微小亀裂も可視化”，2 面，2009.11.26
- 24.朝日新聞，“建物のひずみ塗って発見 佐賀・産総研開発”，10 面，2009.12.07
- 25.朝日新聞，“建物のひずみ 塗料でピタリ 産総研チーム開発”，28 面，2009.12.08
- 26.科学技術振興機構 サイエンスニュースオンデマンド，“建物のひび割れを光で見つける新技術”，2009.12.25
- 27.橋梁新聞，“【新技術情報】産総研他応力発光体のモニタリングシステム開発”，39 面，2010.01.01
- 28.日経 BP 社ケンプラッツ土木，“目に見えないコンクリートのひずみをモニタリング”，2010.01.14
- 29.日経コンストラクション，“目に見えないコンクリートのひずみを可視化”，26, 2010.01.22
- 30.日本経済新聞，“増える老朽インフラ 解体・改修技術 産学開発競う”，13 面，2010.02.22
- 31.TBS テレビ「応援！日本経済 がっちりマンデー!!」，“スゴイ！ペンキ業界 世界初！押すと光る！”，2010.07.11 放送
- 32.日経コンストラクション，“【News 技術】10 年回顧：既設構造物の調査や改良を効率化 -生物多様性保全と地球温暖化対策に向けた技術開発も相次ぐ-”，pp.30-31, 2010.12.2
- 33.月刊誌土木技術資料 53-1 (Civil Engineering Journal), “特集：今後の社会資本整備・管理を支える技術開発 既設構造物高度化のための非破壊検査技術開発における異分野との連携”，pp.8-11, 2011.01
- 34.日経産業新聞，“使用中の橋やトンネル ひび割れ簡単に検出危険性も予想可能”，11 面，2011.07.28
- 35.経済界，“トレンドを斬るビジネス新空間 老朽化が進む日本の「インフラ崩壊問題」維持・管理に新たなビジネスチャンス”，No.953, 14-15, 2011.10.18

### ③その他

1. 徐超男, 卜楠, 福田修, 安達芳雄, 上野直広, 寺崎正, “応力発光体を用いた応力可視化システム”, ハノーバー・メッセ 2008, 2008.04.21～2008.04.25
2. 徐超男, 上野直広, 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, 卜楠, 福田修, 安達芳雄, 西久保桂子, “光の瞬きで見えない力を診抜く -応力発光体による応力分布可視化技術”, サイエンス・スクエアつくば 常設展示, 2008.04.03～2009.03.31
3. PARTNERSHIP 九州の公設試ガイドブック&技術開発補助金活用事例, “応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステム”, 39-40, 2008.03.31
4. 徐超男, “微細構造制御による新規な応力発光セラミックスの開発”, Ceramics Japan4 月号, Vol.43 No.4、274、2008.04
5. 徐超男, “圧光材料(応力発光体)の開発”, 使いこなそう公設研・産総研, 204, 2008.7
6. 上野直広, 卜楠, 福田修, 山田浩志, 今井祐介, 徐超男, “あなたの指先できらめく光を見てください！ ～ペンが織りなす光のまたたき～”, 産総研九州センター一般公開, 2008.09.26～2008.09.27

7. 寺崎正, 張洪武, 山田浩志, 今井祐介, 徐超男, “運動を検知して駆動する革新的な自立型光触媒システムの創製”, 第8回産学官連携推進会議, 2009.06.20~2009.06.21
8. 小野大輔, 徐超男, 李承周, 山田浩志, “応力発光材料を用いた応力可視化技術の開発”, 第9回産学連携フェア, 2009.10.28
9. 寺崎正, 張洪武, 山田浩志, 今井祐介, 徐超男, “運動を検知して駆動する革新的な自立型光触媒システムの創製”, 第8回産学官連携推進会議, 2009.06.20~2009.06.21
10. 今井祐介, 寺崎正, 徐超男, 産総研公開ラボ, “応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出”, 2009.10.15~2009.10.16
11. 小野大輔, 徐超男, 李承周, 山田浩志, “応力発光材料を用いた応力可視化技術の開発”, 第9回産学連携フェア, 2009.10.28~2009.10.30
12. 兵藤行志, 徐超男, “バイオメカニカル光イメージング”, 第3回産総研オープンラボ, 2010.10.15~2010.10.17
13. 徐超男, 上野直広, 今井祐介, 山田浩志, 寺崎正, ト 楠, 福田修, 安達芳雄, 西久保桂子, “力を光に変えて応力分布を可視化 光の瞬きで見えない力を見抜く”, サイエンス・スクエアつくば常設展示, 2009.04.01~2011.03.31
14. 寺崎正, 徐超男, 山田浩志, 上野直広, 二宮正晴, “応力発光センサー”, nanotech2011 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議, 2011.02.16~2011.02.18
15. 兵藤行志, 徐超男, “バイオメカニカル光イメージング”, 第4回産総研オープンラボ, 2011.10.13~2011.10.14
16. 徐超男, “応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステムの創出”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11~2011.11.12
17. 辻 卓則, 徐超男, “応力発光体用の無線ネットワーク”, International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011, Fukuoka Japan, 2011.11.11~2011.11.12

#### (6)成果展開事例

##### ①実用化に向けての展開

- 技術相談数百件に対応し、有望の実用化先企業の選定を行い、開発した新構造物管理システムの社会実装に向けて、検証試験を実施し、技術提供を進めている。
- 本分野の世界初の国際フォーラムを開催する予定であり、また現場実証に向けたテクニカルブック、事例集、動画の出版に着手している。

##### ② 社会還元的な展開活動

展示会の要請対応、取材対応、見学対応、技術相談の対応、技術研修生の受け入れ、研究会の開催などを通して研究成果の社会還元を目指している。

- [技術相談]対応: 300 件以上
- [見学対応] 件数: 50 件以上
- [共同研究・受託研究 国際・国内]契約 件数: 30 件以上
- [技術研修等 国際・国内] 技術指導、技術研修生受け入れなど実績 : 50 件以上
- 日本テレビ「世界一受けたい授業」に紹介
- TBS テレビ「がちりマンデー」に紹介、瞬間最高視聴率にランキング
- ハノーバー・メッセに出展、R&D の最大の世界見本市、
- nanotech2011 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議に出展、総来場者は4万人以上
- サイエンス・スクエアつくば 常設展示, 年間来場者 8 万人以上
- 九州の公設試ガイドブックに事例取材, 応力発光体を用いた安全管理ネットワークシステム

- ・ 「使いこなそう公設研・産総研」に事例紹介、
- ・ 産総研九州センター一般公開に展示、来場者は 1000 人程度
- ・ 第8回産学官連携推進会議に展示、紹介
- ・ 「産」・「学」・「官」の共同研究取組事例に事例紹介 ヒラメキのタネ
- ・ 第9回産学連携フェアに展示
- ・ 産総研公開ラボに展示・紹介、総来場者 3500 人程度
- ・ 本分野の世界初の国際フォーラムを開催 2011 年 11 月 11-12 日
- ・ 本分野初のテクニカルブック、事例集、動画を出版する予定

## § 6 研究期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
H19-H22	遠隔モニタリング技術研究会主催講演会全 10 回	鳥栖、または福岡	数十人程度	年 3 回程度、構造体モニタリング、構造体診断の最前線について講演会を行った。内本チームの成果を 3 件発表した
H20-H23	研究交流講演会全 20 回	鳥栖、または福岡	数十人	年 10 回程度 現場のニーズ紹介、基盤技術、画像処理等関連分野それぞれの主題を中心に、最前線の交流講演会を行った。
H19. 9. 29	産総研九州一般公開	(独) 産業技術総合研究所九州センター	1000 人程度	研究紹介など
H20. 9. 27	産総研九州一般公開	(独) 産業技術総合研究所九州センター	1000 人程度	研究紹介など
H20. 10. 20-21	産総研オープンラボ	産業技術総合研究所つくばセンター		研究成果発表
H20. 11. 18	JST 先進的統合センシング技術研究領域平成 20 年度公開シンポジウム	JST 東京本部		研究成果発表
H21. 10. 3	産総研九州一般公開	産業技術総合研究所九州センター	1000 人程度	研究紹介など
H21. 10. 15-10. 16	産総研オープンラボ	産業技術総合研究		研究成果発表

		所		
H21. 11. 10	JST 先進的統合センシング技術研究領域平成 21 年度公開シンポジウム	東京大学		研究成果発表
H22. 8. 21	産総研九州一般公開	産業技術総合研究所九州センター	1000 人程度	研究紹介など
H22. 10. 14-10. 15	産総研オープンラボ	産業技術総合研究所		研究成果発表
H22. 11. 9	JST 先進的統合センシング技術研究領域平成 22 年度公開シンポジウム	東京大学		研究成果発表
H23. 8. 6	産総研九州一般公開	産業技術総合研究所九州センター	1000 人弱	研究紹介
H23. 10. 13-10. 14	産総研オープンラボ	産業技術総合研究所(つくば)		研究成果発表
H23. 11. 9	JST 先進的統合センシング技術研究領域平成 23 年度公開シンポジウム	東京大学		研究成果発表
H23. 11. 11-11. 12	応力発光による構造体の新しい診断技術フォーラム 2011 “International Forum on Mechanoluminescence and Novel Structural Health Diagnosis 2011” (JST、産総研、九大共催)	福岡国際会議場		研究成果発表等

## § 7 結び

### ・目標から見た達成度

力刺激を光信号に変換する、【応力発光体を用いた安全管理システム】を、世界に先駆けて開発に成功した。応力発光体は、微粒子一つ一つが微弱な力にも敏感に応答し、光を繰返し放射する。構造体表面に、この応力発光体微粒子を分散塗付して発光を調べれば、その発光強度の面分布から構造体の動的な応力分布が可視化され、表面はもとより内部に存在する構造欠陥、亀裂、破壊の現状や進行方向をも瞬時に把握することができる。構造物診断に利用するだけでなく、CAE の検証、汎用試験機への適用等、想定以上の成果が得られた。挑戦的な目標を達成したと自負している。

### ・今後の研究展開

本研究の遂行を通して、革新的な【応力発光体】を用いた安全管理ネットワークシステムの創出と共に、供用中のコンクリート橋や鉄鋼橋で、健全性評価の実証試験を行い、開発したシステムの有用性を確認している。社会構造物、産業構造物だけでなく、日常生活用の自動車・家電製品まで、どこにでもある人工物全般への普及が期待されている。

本研究の成果は今後本格的な社会普及の礎となり、今後はさらに実証を行い、基礎と応用の両輪で発展していく。

### ・研究代表者としてのプロジェクト運営について

本研究のような世界初の革新的なシステムを創出した研究については、新材料、新手法、新センサシステム、新サービスと、一連の新産業創出が期待される。しかし、新しい産業連鎖のため、互いに連動し、基盤になっている材料・センサへの基礎支援の枠組みを要望したい。

本チーム型研究は若手研究者の育成に大いに貢献している。また、本領域の特徴とした社会実証研究は、若手研究者の育成に非常に有用であると見ている。実証試験を通して、学問と社会現状の多方面からの刺激が相互に受けられ、若手研究者の育成を加速させている。

本チームの例において、若手研究職員をはじめ、博士研究員(ポスドクター)等を産学官連携の中で、さまざまな分野の専門家と共同研究させることにより、プロジェクト期間中に多数の研究所や大学の講師以上に採用され、同時に産業界にも貴重な人材を多数輩出している。次世代の研究開発リーダーの育成に効果的である。

また、女性研究者の支援制度や RA 制度も人材育成に非常に有用であった。前者は出産・育児の影響を低減させ、女性研究者の継続育成に役立ち、後者は博士課程学生を RA として採用し、基盤研究だけでなく、実証試験にも積極的に参画させることにより、問題解決型人材の育成に非常に役立っている。

### ・戦略的創造研究推進事業に対する意見、要望

CREST チーム型研究は、チーム全員が目標を共有して、大きな社会課題の解決に向かって、目標を達成するには非常に有効な制度であった。領域と密に連携があり、領域総括をはじめ、アドバイザーの適切なアドバイス、JST 本部、領域事務所の厚い支援により、研究を大きく進展させることができた。領域他のチームとの交流も深めることができ、非常に有益であった。加えて RA 支援制度、出産育児支援制度は若手や女性研究者の育成に非常に有用であった。関係者の方々に心より深く謝意を表したい。



図 7-1 2011 年 3 月メンバー卒業時の写真



図 7-2TBS テレビ番組取材（一部メンバー）



図 7-3 日本テレビ番組より（橋異常検出）