

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560297

研究課題名(和文) 適応AE信号処理アプローチによる膝関節の動的な完全解析

研究課題名(英文) Dynamic integrity analysis of knee joints by adaptive AE signal processing approach

研究代表者

KHAN M. I. (Khan, Md. Tawhidul Islam)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：50423603

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：最初に、提案された適応アコースティック・エミッション(AE)手法による研究背景及び膝関節の動的な診断分析に関する実験装置の準備を行った。その後、膝関節の運動量を計算のため、モアレトポグラフィによる画像処理の実験準備もした。準備したAE実験装置の性能評価のためにAE非破壊検査手法により、膝関節の骨・軟骨の故障を分かるように、鋼、鋳鉄等の硬い物に起こる故障の評価を確認した。AE手法による起こった故障の源位置も調べた。その結果を参考し、膝関節の実験を行い、提案された適応AE手法による、膝関節診断の実験実験可能のこと分かった。

研究課題に基づく調査論文3件、国際学会論文8件、国内学会論文4件であった。

研究成果の概要(英文)：At first, the literature review and the preparation for the experiment of the proposed research have been conducted. For calculating the dynamic quantities of knee joint movements, moiré topography based image processing techniques have been developed. For understanding and evaluating the performance, the nondestructive evaluation performance test of AE technique has been conducted by getting the information of damage initiation and propagation properties in different pilot studies for some knee-bone like hard structural materials as steel, pearlite type cast-iron. Source location criterial of AE technique for material damage has been satisfactorily achieved as well. These experimental results showed the evidence of practical applicability of the proposed AE technique in knee joint evaluation as explained in the proposal.

Based on results, 3 Journal papers, 8 International and 4 Domestic Conference papers have been published.

研究分野：工学

キーワード：動的な完全分析 膝関節診断 関節炎 AE 適応信号処理

## 1. 研究開始当初の背景

年をとったすべての人々において、変形性膝関節症(OA)はさまざまな障害を引き起こす。そして年をとることで発症しやすくなるので、日本だけでなく海外の国でも罹患率は増加していく。解剖学によれば、膝関節は、大腿骨や脛骨、膝蓋骨などのさまざまな骨によって構成されており、それぞれが接触する部分や端の部分は軟骨によって覆われている。この軟骨が損傷することで、変形性関節症(OA)が膝関節内部に発症し、耐え難い痛みを引き起こす。最悪の場合、患者の合意の上で人工関節に置き換える手術を行う必要がある。

そのような膝の問題の影響を減少させる可能性がある取り組みは、病気の初期段階に処置を始めることである。しかし、検査における現在の一般的な映像診断法では膝関節の静的な状態しか分析できず、病気の早期発見には不十分である。磁気共鳴映像法(MRI)は、この目的を達成するためによく用いられるが、現状では入手のしやすさやコスト、携帯性の点で導入の妨げとなっている。

工学分野で幅広く使われているAE分析法は、亀裂の発生や進展、機械的相互作用に関連する摩擦や磨耗など、さまざまな状態における材料の破損を観察することが可能である。以上に示してきた多くの観測例により、膝関節損傷を早期に識別するための膝関節の動的分析に、AE技術は適応可能であると言える。AEは主として動的な検査技術であるため、適切な画像処理や信号処理を用いることで、AE技術によって膝関節の動的特性や損傷状態、損傷箇所を評価できる。

## 2. 研究の目的

よって、提案する研究の目的は以下に示すものとした。

(1) 膝関節の生体内の動的分析に適応できるAE手法の開発。

(2) 提案された手法により、膝関節の健康状態や損傷状態を詳しく評価する。

(3) 早期治療のために、提案されたAE手法により変形性関節症(OA)を早期に発見する。

## 3. 研究の方法

AE信号処理による膝関節の動的分析の研究は、3年間行われた(2012-2014)。2012年には、提案された適応型AE手法とモアレトポグラフィに基づいた角度計測技術(膝関節運動の角度計測)の導入と、膝関節の動的分析モデルの作成が完了し、実際に実験を行う準備ができた。2013年と2014年には、AE手法についてのさまざまな論文を参考にし、膝関節を構成する構造体について動的分析を行った。提案されたイメージング技術はパーライトやフェライト、鋼などの骨に似た硬い物質の疲労実験と同様に、年を取ることによって膝の疲労損傷が発生することを明らかにした。その後、膝関節のいくつかのサンプル実験が行われた。最後に、疲労試験における損傷位置を特定するために、AE源位置測定手法(一次元タイプ)の研究を行った。従って、以下に示しているすべての方法論が行われ、最終的に提案した技術は、実際の臨床実験にむけて準備された。

## 生体内の動的分析のためのAE技術

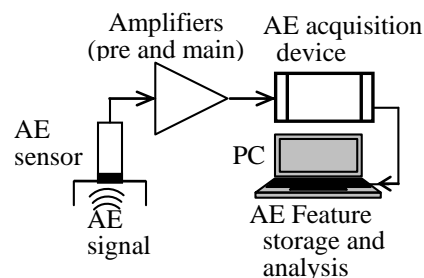


Fig.1 AE Basic Schematics

AEの生体内における動的手法は図1のように適応される。信号処理結果は材料の場合と同じように、膝関節構造の損傷同定に関する

次のセクションで説明される。AE 実験を行う前に、モアレポトグラフィは膝の角運動を計測するために適用される。

### 膝関節の動的分析のための、モアレポトグラフィに基づくイメージプロセッシング

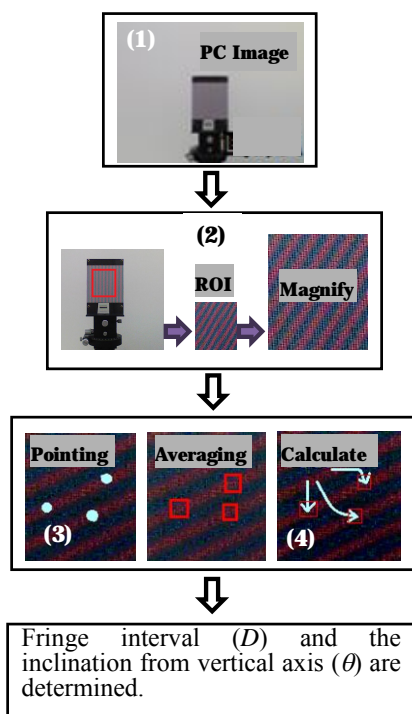


Fig.2 Moiré topography for angular movement measurements

### 生体内における疲労損傷と疲労位置の識別のための AE 技術

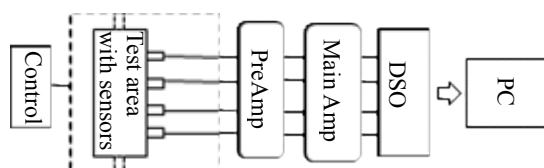


Fig.3 AE schematics for the measurement of fatigue damage in bone like hard materials (pearlite) and knee sample tests.

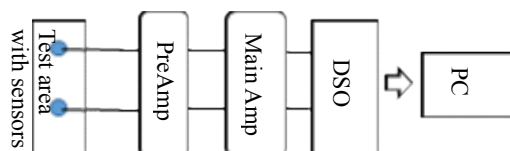


Fig.4 AE schematics for the measurement of wave velocity for AE source location.

図 3 において、材料または膝関節の疲労実験のために AE センサーを取り付けた位置を点線で示す。4 個の AE センサーは被験物に取り付けられ、疲労亀裂と AE のデータは PC に保存される。そして、最後に AE パラメータ解析が行われ、実験対象の損傷を明らかにする。

波の伝播速度は、図 4 に示す直線的な AE 源位置測定アルゴリズムによって計測された。図 1 から図 4 は、損傷の特性を分析するための AE 手法、モアレポトグラフィに基づく膝関節の角運動を計測するための画像処理技術、材料または膝関節の AE 実験に基づく硬質材料の疲労損傷評価、AE 源位置測定試験による波の伝播速度計測の概要図である。それぞれの手法に関する追加説明は、次の研究結果の中に示す。

## 4. 研究成果

### モアレパラメータの解析結果

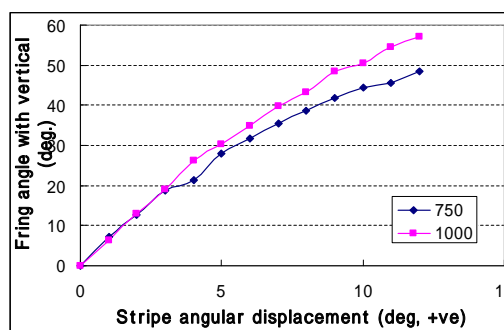


Fig. 5 moiré technique in angular measurements

Open CV に基づくモアレ縞の隙間と垂直方向軸との向きを高速で計測する画像処理アルゴリズムは以下のように説明される。この手法は簡単で、容易に応用できる。提案したアルゴリズムは、角度計測における熟練性を必要としない。このプログラムはモアレ縞の画像エリアから無作為に 3 点を選択すると、すぐに結果が表示される。図 5 に示す 2 つの位置 (750、1000) におけるイベントの結果から、角度測定の特徴が表される。

現行のシステムでは、1000 個の位置まで最適なパラメータを算出することができる。

### AE 手法による損傷評価

現在の材料試験の目的は、膝の痛みや年齢が異なる人々の膝関節内部における損傷の始まりと損傷の進展の判断基準を開発することであった。そのため、最初に、サーボパルサーを使用しパーライトの試験片が完全に破断するまで連続した疲労荷重をかける実験を行った。これらの連続した疲労荷重がかかっている中で、材料中の損傷開始や損傷進展の特性を正しく評価するために、AE 手法を用いた。図 6 は、疲労によって試験片に生じた損傷の顕微鏡画像である。この損傷に対応する AE の識別は、AE のピークフリクエンシー分析によって図 7 に示される。損傷が開始するときに関するピークフリクエンシーは、赤い点線に囲まれた部分である。ほかのピークフリクエンシー（最大となるものより小さい）はヒット 3 から 5 で見られるが、顕微鏡で検出されるような外部の損傷は見られなかった。よって、疲労損傷（亀裂）の伝播は AE 手法によりうまく評価することができた。また、いくつかの論文でも示された。



Fig. 6 Crack initiation in pearlite material under fatigue loads (microscopic image with 50 times zoom) in 14<sup>th</sup> AE hit.

年をとるにつれ頻繁に発生する骨関節炎を明らかにするために、年齢別の膝関節の性能に関する研究を行った。結果は対象者の年齢ごとに比較した。

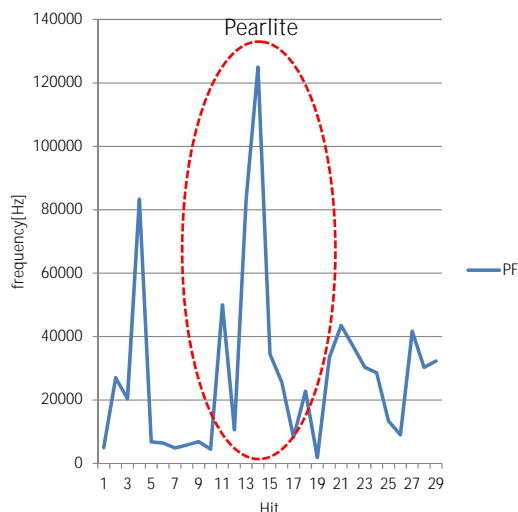


Fig. 7 Frequency evaluation (peak frequency) with respect to AE events. Red dotted mark shows the peak frequency when the active fatigue damage started to the material (14<sup>th</sup> AE hit).

得られた結果は、提案した研究テーマが高齢化社会で OA を防ぐために、膝関節の状態を識別できる能力があることを示した。そして、現実に適切であることを示した。

図 8 に 1 つのサンプル結果を示す。この結果からは、年をとるにつれ膝関節の骨の状態が変化していることが明確にわかる。

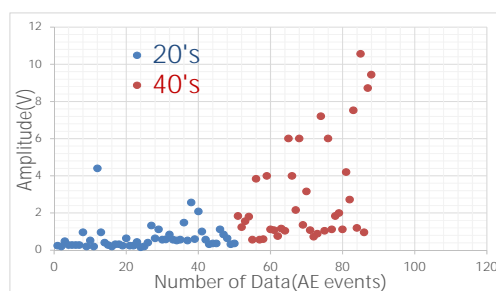


Fig. 8 AE signal intensity of two groups of participants are shown in signal amplitudes (V) for having AE hits.

### 1 次元の損傷位置測定法

損傷の源位置を特定するために、1 次元の AE 源位置測定アルゴリズムを開発した。いくつかのサンプル実験（1 次元）が行われた。実験結果を表 1 に示す。この結果から、測定方法の性能が満足のいくものであることがわかる。

Table 1: linear source location algorithm

回数	d(s1-s4)	正確値	誤差 (mm)	Percent error
1	0.069	0.07	1	1.40%
2	0.068	0.07	2	2.90%
3	0.068	0.07	2	2.90%
4	0.068	0.07	2	2.90%

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3件)

1. Khan M. I. et al (2), Structural Damage Localization by Linear Technique of Acoustic Emission, OJFD, Vol. 4, 2014, pp.425-432. (査読有り)  
<http://dx.doi.org/10.4236/ojfd.2014.45032>
2. Khan M. I., Quick-Acquisition of Major Parameters for Moiré Sensing Technique by an Image Processing Approach, Int. Journal of COMADEM, Vol. 17, No. 1, 2014, pp. 3-8. (査読有り)
3. Khan M. I. et al (3), Precise Measurement of Moving Object by Moiré-Based Image Processing Technique, OJFD, Vol.2, No.4A, 2012, pp.202-207. (査読有り)  
doi:10.4236/ojfd.2012.24A022

[学会発表](計 12件)

1. Khan M. I. et al (3), Source Detection of Fatigue Fracture in Cast Iron by AE Technique, 13<sup>th</sup> Evaluation Diagnosis Symposium of JSME, Kitakyushu, 11-12 December 2014.
2. Khan M. I. et al (2), Crack Propagation Detection in Cast Iron by AE Signal Processing, 13<sup>th</sup> Evaluation Diagnosis Symposium of JSME, Kitakyushu, 11-12 December 2014.
3. Khan M. I. et al (5), Monitoring the damage of ductile cast iron by AE technique on fatigue loading, COMADEM, Brisbane, Australia, 16-18 September, 2014
4. Khan M. I. et al (3), Adaptive AE

Technique for the Integrity Analysis of Knee Joint, ICSV21, Beijing, China, 13-17 July, 2014

5. Khan M. I. et al (5), EMG Signals in Muscular Co-Activations for Dynamic Analysis of Knee Joint, 3<sup>rd</sup> ICIEV, Dhaka, Bangladesh, 23-24 May, 2014
6. Khan M. I. (Invited lecture), Acoustic Emission Technique in Integrity Analysis of Knee Joint: a Possible Precautionary Measure to Prevent Osteoarthritis, a Major Problem in Aged Society, 3<sup>rd</sup> ICIEV, Dhaka, Bangladesh, 23-24 May, 2014
7. Khan M. I. et al (2), Dynamic Analysis of Knee Joint by Acoustic Emission Technique, 12<sup>th</sup> Evaluation Diagnosis Symposium of JSME, Nagoya, 2-3 December 2013.
8. Khan M. I., Dynamic Analysis for the Integrity Assessment of Knee Joint, QF-ARC2013, Doha, Qatar, 23-24 November, 2013
9. Khan M. I. and S. Kitamura, Parametric Analysis of Acoustic Emission for Characterizing the Crack Initiation and Propagation of a Tensile-Stressed Steel Plate, ICSV20, Bangkok, Thailand, 7-11 July, 2013
10. Khan M. I. et al (2), Characterization of Damage Initiation of Ductile Cast Iron by Acoustic Emission Technique, ICSV20, Bangkok, Thailand, 7-11 July, 2013
11. Khan M. I. and Y. Harino, Dynamic Analysis for the Integrity of Knee Joint by AE Signal Processing Approach, ICSV20, Bangkok, Thailand, 7-11 July, 2013
12. Khan M. I. et al (2), Pre-Failure Damage

Evaluation and Characterization by AE  
Technique, 11<sup>th</sup> Evaluation Diagnosis  
Symposium of JSME, Kawasaki,  
December 2012.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

Khan M. I. (カーン エム・アイ・)  
佐賀大学・工学系研究科・准教授  
研究者番号：50423603

##### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

##### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：