

光学的全視野応力・ひずみ 計測法国際標準化の動向

和歌山大学システム工学部

米山 聡，森本吉春

これまでの経緯

- 1999年6月 SEM Annual Conf. (Cincinnati)において、E.A. Patterson (Univ. Sheffield)が標準化の必要性、目的等について講演
- 1999年7月 VAMASに光学的全視野応力・ひずみ計測法標準化作業部会(TWA26)発足
- 2000年6月 SEM Int. Conf. (Orlando)において、第1回VAMAS TWA26の会議が開催される

VAMASとは?

VAMAS — The Versailles Project on Advanced Materials and Standards

新材料と標準に関するベルサイユプロジェクト

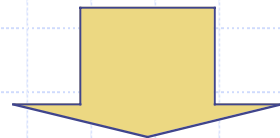
参加国間で、プレスタンダード化に関する活動を通じて、新材料に関連した新技術の発展を促し、経済的な交流を活性化する

- † 材料試験法，測定法の開発
- † 試験結果の比較
- † 標準材料・試験片の提供
- † 材料特性データベースの構築
- † 専門用語・記号等の統一

VAMASとは? (2)

VAMAS の活動

- † 標準化のための前段階の研究
- † 国際ラウンドロビン試験



ISOによる国際規格化

VAMAS の組織

運営委員会 (主要7カ国)

技術作業部会

(TWA: Technical Working Area)

TWA1 摩擦試験

TWA2 表面化学分析

TWA3 セラミックス

⋮

TWA26 光学的全視野応力・ひずみ計測法

光学的応力・ひずみ測定法

- † 非接触での測定が可能である
- † 測定対象全域の値が得られる (Full-field法である)
- † 高精度である
- † 高速化が可能である

光弾性法

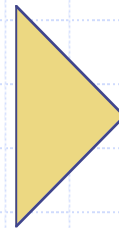
モアレ干渉法

コースティックス法

スペックル干渉法

ホログラフィ干渉法

サーモグラフィ法



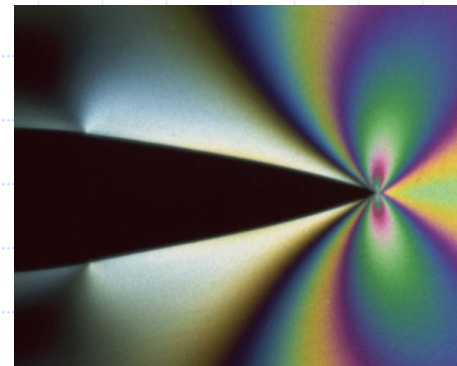
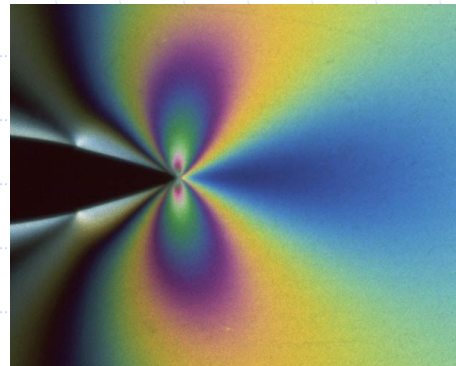
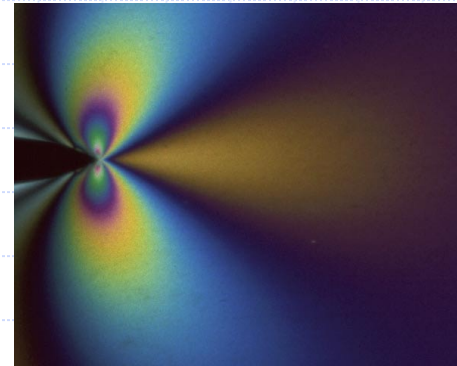
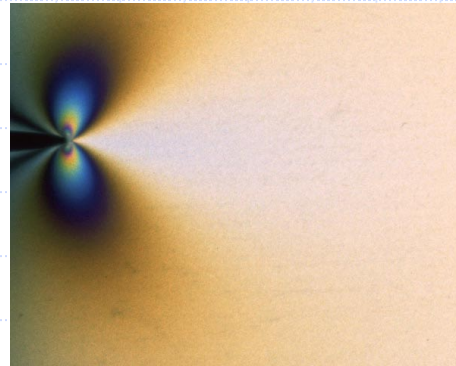
動的き裂進展・分岐

弾性波の伝ば

粘弾塑性力学挙動

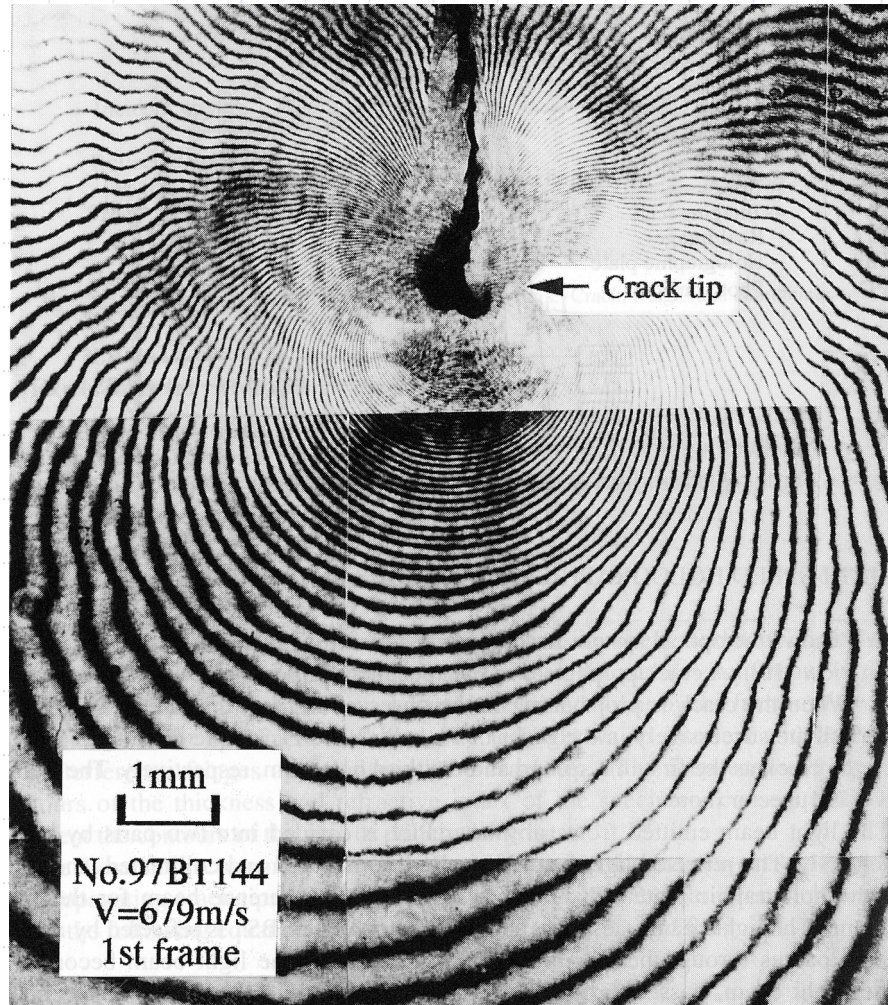
接触問題

光弾性法



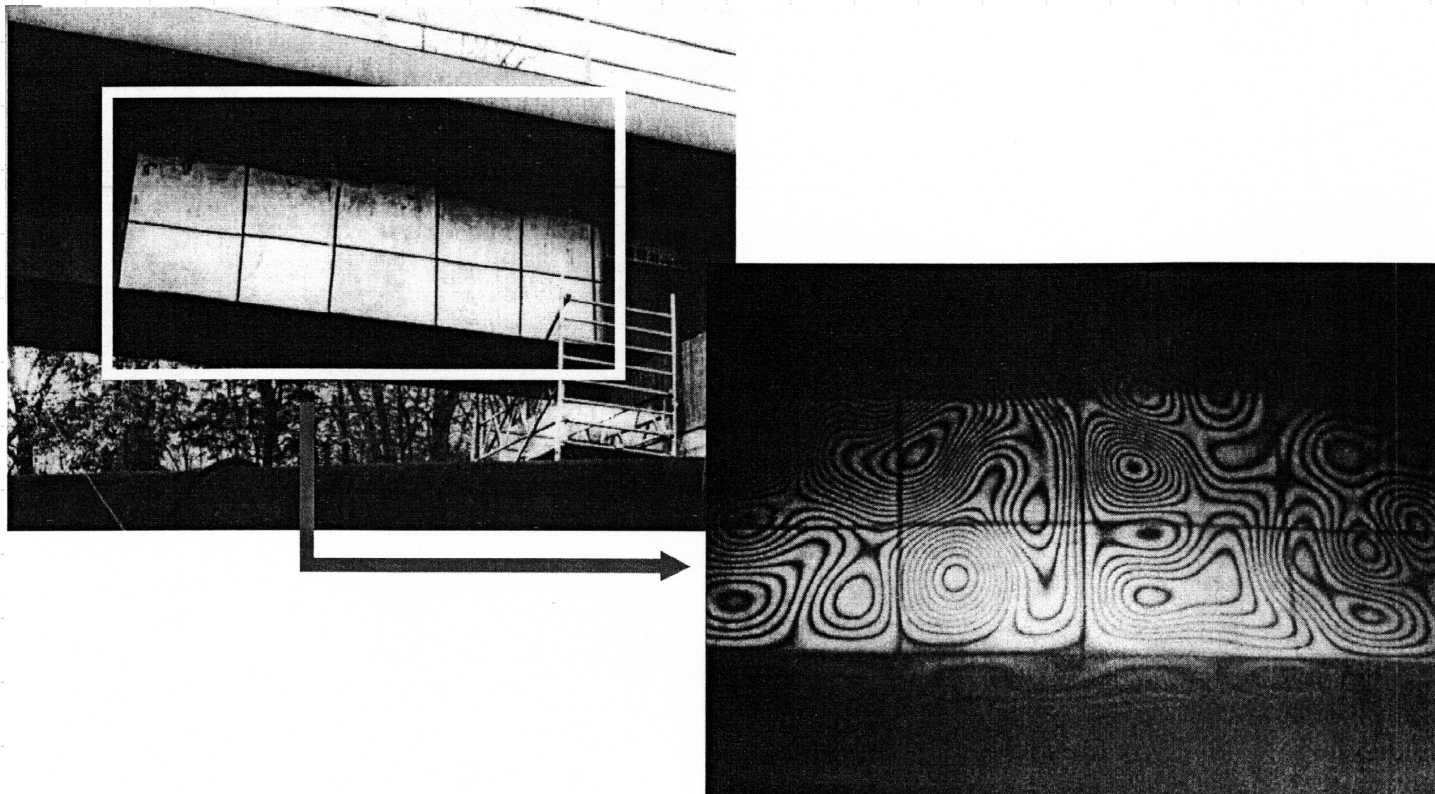
光粘弾性法による粘弾性き裂先端部の応力・ひずみ場測定
(Yoneyamaら 1999)

ホログラフィ干渉法



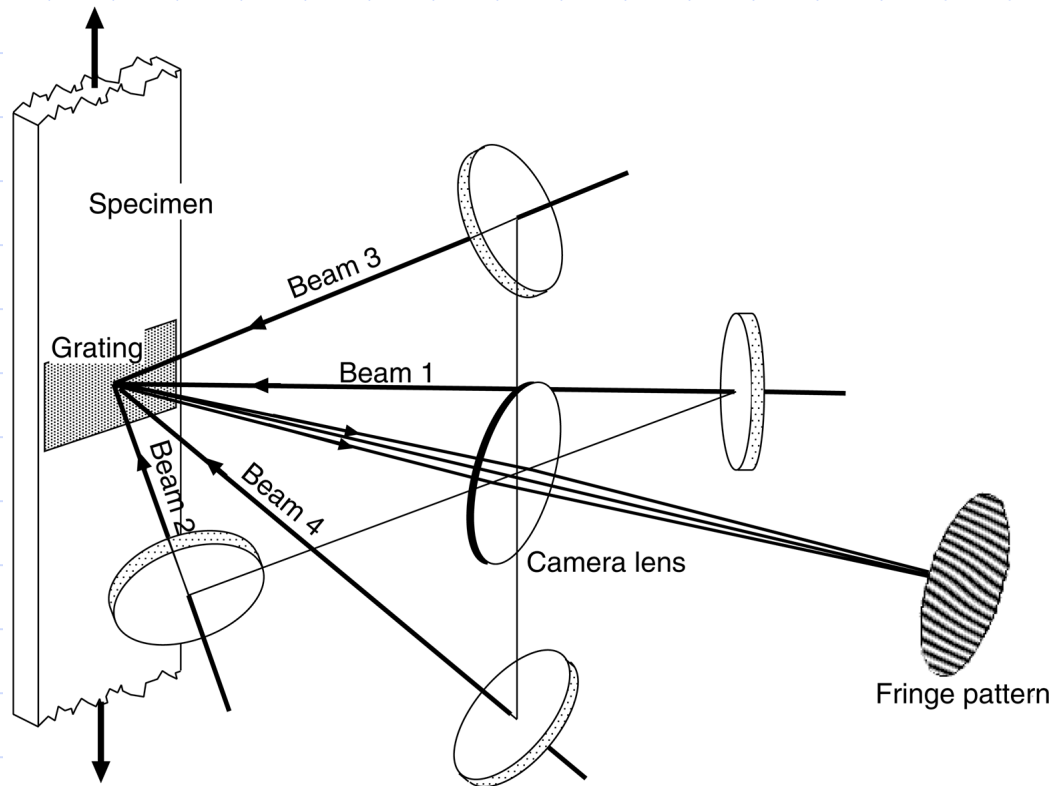
ホログラフィ干渉法による
き裂先端部近傍変位場の
測定 (Suzukら 2000)

スペックル干渉法

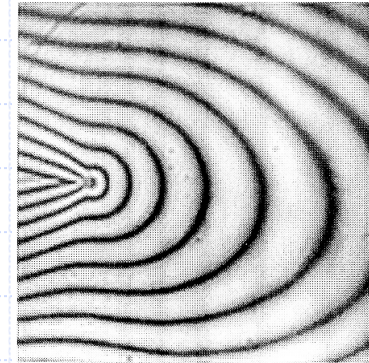


ESPIによる橋梁の変位測定 (Kim & Hong 2001)

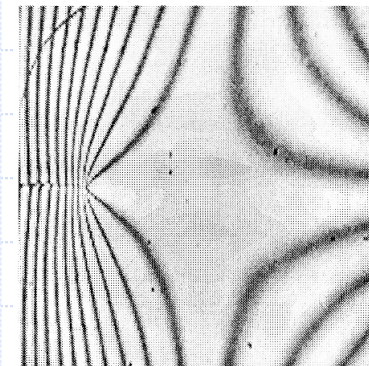
モアレ干渉法



モアレ干渉法における光学系



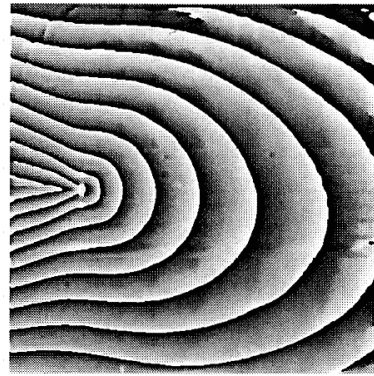
u-filed



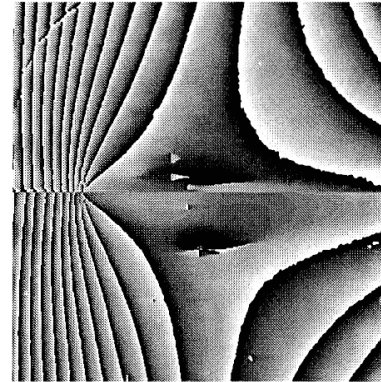
v-filed

き裂先端部近傍変位場を
表すモアレ縞 (西岡 2000)

位相解析

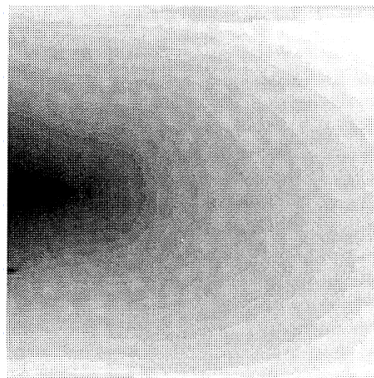


u-filed

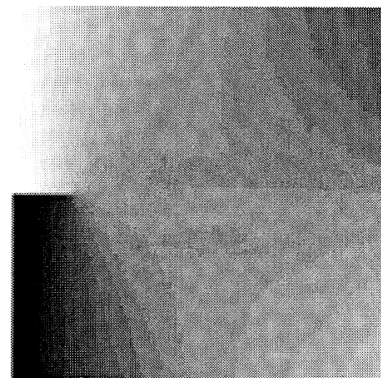


v-filed

位相分布



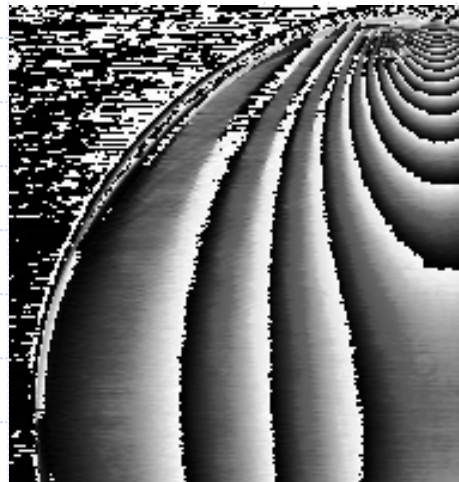
u-filed



v-filed

位相接続後の位相分布 (西岡 2000)

実時間位相解析



主応力差



主応力方向

積分型位相シフト法による主応力差および
主応力方向の位相解析 (Yoneyamaら 2001)

光学的応力・ひずみ測定法の 現状

設計・強度評価など

スペックル干渉法
シアログラフィ法
光弾性皮膜法

非破壊検査など

スペックル干渉法
シアログラフィ法
サーモグラフィ法

力学挙動に関する研究など

スペックル干渉法
モアレ干渉法
コースティックス法
光弾性法
デジタル像相関法

光学的応力・ひずみ測定法の 現状

- 一部の研究者に使われている
- 航空機産業など一部の企業において使用されている
- 多くの場合、測定にはひずみゲージが用いられている
- 有限要素法が多く用いられている

応力・ひずみ測定関連規格の 現状

JIS

非破壊試験用語，ロードセル性能試験方法

NDIS

電気抵抗ひずみゲージに関する規格
音弾性法に関する規格
X線応力測定に関する規格

ASTM

電気抵抗ひずみゲージに関する規格
X線応力測定に関する規格
光弾性法を用いたガラスの応力測定に関する規格

BS,
BSSM,
VDIなど

電気抵抗ひずみゲージに関する規格

標準化の対象となる光学的測定法

レーザーを用いた方法

- コースティックス法
- スペックル干渉法
- ホログラフィ干渉法
- モアレ干渉法

格子を用いた方法

- 幾何学的モアレ法
- 実体格子型モアレ法（シャドーモアレ法）
- 投影格子型モアレ法（プロジェクションモアレ法）
- CGS 法

光弾性法

- 透過光弾性法
- 光弾性皮膜法

赤外線応力測定法

標準化の内容

光源（スペクトル分布，安定性，単色/多色など）

光学系（レンズ，ミラー，偏光子など）

カメラ・センサー（素子の形状，応答特性など）

デジタイザー（分解能，速度，ノイズ，データ圧縮など）

データのフォーマット（画像データ，数値データ，最終結果など）

実験手順（試験片作成方法，コーティング法，負荷方法，温度など）

ASTMの活動

2000年5月，非接触光学的ひずみ測定法手引き書の草案を作成 (ASTM E08-24 Committee)

Standard guide for evaluating non-contacting strain measurement systems

専門用語の定義

一般的な光学的ひずみ測定法の概略

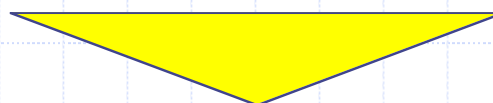
精度・誤差の評価方法

ASTM草案の例

Terminology	Definition
Optical data	Recorded images of specimen, containing encoded information related to the displacement and/or displacement gradient field.
Decoded data	Measurement information related to the displacement or displacement gradient field.
Optical data bandwidth	Spatial frequency range of the optical pattern (e.g. fringes, speckle pattern, etc.) that can be recorded in the images without aliasing or loss of information.
Optical resolution (pixels/length)	Number of optical sensor elements (pixels) used to record an image of a region of length L on object.
Spatial resolution for optical data	One-half of the period of the highest frequency component contained in the frequency band of the encoded data.
Decoded data bandwidth	Spatial frequency range of the information after decoding of the optical data
Dynamic range	The range of physical parameter values for which measurements can be acquired with the measurement system.
Spatial resolution for encoded data	One-half of the period of the highest frequency component contained in the frequency band of the decoded data.
Coherent illumination	Light source where the difference in phase is solely a function of optical path differences; interference is a direct consequence.
Incoherent illumination	Light source with random variations in optical path differences; constructive or destructive interference of waves is not possible.
Maximum temporal frequency of encoded data	Reciprocal of the shortest event time contained in the encoded data (e.g., time variations in displacement field)

日本の対応

VAMAS TWA26 の会議においては、日本の現状報告のみ

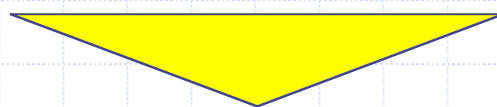
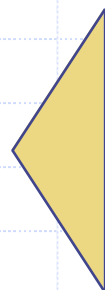


日本としてもしくはアジアとしてどう対応すべきか？

標準化の必要性とメリット

機械や構造物の強度評価
や検査
材料の力学挙動や現象の
解明

光学的測定法
光学的測定法と計算力学
法のハイブリッド法



- q 信頼性の高い正確な結果を得ることができる
- q 企業においては信頼性の高い製品をより早く安く設計・製造できる

標準化の必要性とメリット

測定手順，機器・装置，データ処理法などの標準化



光学的測定法が普及する
測定・検査結果の信頼性が向上する
新しい手法の従来法との比較が容易になる
異なる方法による測定結果の比較が容易になる

今後の予定

2000年6月 第1回VAMAS TWA26 会議

2001年6月 標準化活動計画決定

2002年6月 標準化試験（ラウンドロビン）開始

2004年6月 標準化試験結果まとめ

2005年1月 国際標準化機構に委員会を設置

2005年6月 規格の草案作成，追加試験

2006年6月 最終規格案作成

参考文献

1. Dally, J.W and Riley, W.F., Experimental Stress Analysis, 3rd Ed., McGraw-Hill (1999).
2. Kobayashi, A.S., Handbook on Experimental Mechanics, 2nd Ed., VCH Publisher (1995).
3. Post, D., Han, Bifan and P., High Sensitivity Moiré Interferometry, Springer-Verlag (1994).
4. 高橋賞, フォトメカニクス 山海堂 (1997).
5. Rastogi P.K. Photomechanics Springer-Verlag (1999).
6. Rastogi P.K. and Inaudi D., Trends in Optical Non-destructive Testing (2000).
7. Lagarde A., IUTAM Symposium on Advanced Optical Methods and Applications in Mechanics Kluwer Academic Publishers, (2000).
8. Ramesh, K, Digital Photoelasticity Springer-Verlag (2000).
9. 米山 聡・森本吉春, 光学的全視野応力・ひずみ計測法の国際標準化について 第3回応力・ひずみ測定と強度評価シンポジウム講演論文集, (2001), 33-38.
10. 富田育男, 今なぜ標準か?, 日本機械学会誌 102966 (1999), 30-32.
11. Kobayashi, A.S., Experimental Techniques in Fracture Mechanics, Iowa State Press, (1973).
12. Epstein, J.S., Experimental Techniques in Fracture, VCH Publishers, (1993).
13. 阪上隆英・久保司郎, 赤外線サーモグラフィを用いた非破壊検査技術の最近の話題非破壊検査, 4810 (1999), 653-660.
14. 森本吉春, フ - リエ変換を用いた応力・ひずみ分布測定, 非破壊検査, 44-7 (1995), 43-50.
15. Huntley, J.M., Automated Fringe Pattern Analysis in Experimental Mechanics: Strain Anal. Eng. Des., (1998), 105-125.
16. Nishioka, T., Kuri and Nakabayashi, H., An Intelligent Hybrid Method to Automatically Detect and Eliminate Experimental Measurement Errors for Linear Elastic Def Fields, Exp. Mech., 40 (2000), 170-179.

参考文献

17. Morimoto, Y., Nomura Fujigaki, Yoneyama, S. and Matsui, R., Real-time Analysis of Isochromatics and Isoclines Using Phase-shifting Method, Proc. SEM Annual Conf. Eng. Mech., (2000) 掲載予定.
18. 熊沢鉄雄, ひずみ測定関連規格の現状と将来, 非破壊検査 50-2 (2001), 88-90.
19. Burgete R.L., On the Standardisation of Optical Stress and Strain Measurement Methods, Proc. SEM Annual Conf. Eng. Mech., (1999), 261-263.
20. 齋藤鐵哉, 国際標準化における VAMAS, 日本機械学会誌, 102966 (1999), 38-40.
21. 森本吉春・米山 聡, 全視野計測法標準化分科会光学的全視野計測法の研究開発とその標準化-, 日本実験力学学会誌 221, (2000) 掲載予定.
22. O'Brien, E.W. Development in Advanced Experimental Stress Analysis for Rapid In Support of 'Total Package' Aircraft Design and In-service Maintenance, Proc. Adv. Tech. Eng. Mech., (1997), 397-400.
23. Kobayashi, A.S., Hybrid Experimental-numerical Stress Analysis, Handbook on Mechanics, 2nd Ed., Kobayashi, A.S. Ed., VCH Publishers, (1993), 751-783.
24. 西岡俊久, ハイブリッド実験・数値解析法の最近の展開例, 材料力学部門分科会・研究会合同シンポジウム, No.00-3 (2000), 15-20.
25. Suzuki, S., Inayama, I., Arai, N. and Mizuta, T., Stress Field Measurement at B: Fast Propagating Cracks by High-speed Interferometry, IUTAM Symp. Advanced Opt. Methods and Applications Mech. Sold. Kluwer Academic Publishers, (2000) 587-594.
26. Yoneyama, S., Ogawa, K., Misawa, A. and Takashi, M., Evaluation of Time-dependent Fracture Mechanics Parameters of a Moving Crack in a Strip, JSME J., Ser. A, 424 (1999-10), 624 .