

日本学士院賞 受賞者 横堀 壽光



専攻学科目 材料強度学

生年 昭和二六年 三月
略歴 昭和四八年 三月

同 五三年 三月 東北大学工学部機械工学第二学科卒業

同 五三年 三月 東北大学大学院工学研究科博士課程修了

同 五三年 三月 工学博士

同 五四年 四月 東北大学工学部助手

同 五四年 六月 東北大学工学部助教授

平成一三年 一月 東北大学大学院工学研究科教授

同 二八年 四月 東北大学名誉教授

同 二八年 四月 帝京大学客員教授

同 二九年 四月 帝京大学特任教授(現在に至る)

工学博士横堀壽光氏の「メゾスケール力学に基づく材料の疲労および時間依存型強度学の基礎理論とその実用に関する研究」に対する授賞審査要旨

材料強度の研究は、材料の強度特性向上を対象とする材料学的分野と構造体の安全性維持を対象とする実用分野にわたっている。前者は破壊機構の解明、後者は、破壊防止技術構築へ向けての試験法の標準化や非破壊検査方法の確立などである。横堀壽光氏は金属材料学と巨視力学を繋ぐメゾスケール力学を独自に構築して、両分野を結びつけ、実用に関わる疲労、水素脆化および高温クリープなど、繰返しおよび時間依存型破壊寿命を定量的に予測する独自の理論を導出した。これらの理論は、金属、高分子のみならず、血管壁粘弾性評価にまで広く横断的に適用され、従来の破壊力学の枠を越えて構造安全性維持に関わる寿命予測と強度劣化の指標を提示しており、それぞれの専門領域におけるパラダイムを変える成果となっている。

一、金属疲労き裂成長の研究…一九五〇年代に世界初のジェット旅客機である「コメット」(イギリス)の墜落事故が連続発生した。この事故を受けて疲労き裂成長速度の研究が推進され、Parisの実験則が提案され、これが現在の基本設計式になっている。横堀氏は、転位群の流れの相似則を数値解析により見出し、これを用いてParisの実験則に対応する疲労き裂成長の動的理論式を世界で初めて表式化した(論文3)。本理論は、破壊力学とは識別される独自の理論であり、この分野のテキストや論文にYokobori's Theoryとして数多く引用・紹介されている。

二、水素拡散解析に基づく水素脆化敏感度の定量的特定…冬季に発生した航行中の商船、鉾石運搬船の低温脆性破壊(米国船および日本のはりばあ丸(一九六九年)、かりふおるにあ丸(一九七〇年)など)は、腐食反応に伴って発生する水素脆化の影響も考えられ、防食技術の進歩等により事故の発生が防止されてきた。しかし、燃料電池車の部品や水素スタンドインフラなど水素エネルギー技術開発に対しては、より高次の水素脆化防止対策が求められており、実験の困難さも相まって応力負荷の下での構造体中に流入する水素輸送解析が必須のものとなっている。横堀氏は、本問題に対して水素凝集を顕在化させる係数を微分方程式に導入し、さらに有限要素法

と差分法を組み合わせた独自の解析法を提案し、水素脆化敏感度を定量的に予測する理論式を世界で初めて導いている(論文10、13)。従来の水素拡散解析の研究は、材料工学的研究であり、横堀氏による構造体の外部から水素が流入する問題の解析は、水素エネルギーインフラの安全維持を担う研究として識別され、現在、国家研究プロジェクト(NEDOおよびJST)で、その実用化研究を展開している。

三. 材料の高温破壊機構に関する研究・高温クリープき裂発生と成長に関して系統的な研究を遂行し、き裂成長寿命を特定する Q^* なる独自のパラメータを提出した。それと並行して「破壊寿命予測法構築のための試験法の提案とその標準化に関する研究」を行った。その中で鋭い切欠きを有する試験片を用いたクリープき裂成長試験法は、クリープき裂発生の定義とともにASTM規格E1457-07、15に取り入れられている。 Q^* パラメータもASTM規格E1457-07、15に紹介され、ISO TTA 5:2007, "Code of practice for creep/fatigue testing of cracked components" に一つの方法として大きく紹介されている。これらの研究は国際規格策定に寄与するもので、材料強度学の実用化として国際的に位置づけられている。また、 Q^* パラメータはクリープき裂成長寿命を予測する独自の理論として世界的に認めら

れ、多くの論文・解説に紹介されている。また、材料および試験片形状に対しての系統的研究から、統一理論を構築し、「構造脆性」、「マルチスケール解析による時間依存型破壊」など独自の概念を提案している。

四. 非侵襲血管疾患診断への応用・高分子材料である人工血管および血管の強度劣化研究を先駆的かつ系統的に行っている。また、その非破壊検査技術の応用として、超音波により血管壁加速度応答を非破壊的に検出し、その粘性弾性発現度を定量化する I^* パラメータを提案して血管壁粘性評価という独自の観点から血管疾患を診断するアルゴリズムを構築した。本方法と理論は、二〇〇四年九月に医療診断装置として厚生労働省により薬事承認され、二〇一五年に東京大学医学部附属病院心臓血管外科を中心とするグループにより冠動脈疾患を有意に予測しうる方法であることが臨床研究により示された(論文17)。また、カオス理論を展開して、動脈瘤を非侵襲的に診断する方法も提案している(論文15)。

横堀氏の研究は、構造材料の疲労および時間依存型破壊寿命と強度劣化を定量的に予測する独創的実用化研究として位置付けられ、本専門分野の国内外の著名な賞も授与されている。

主要論文リスト

1. T. Yokobori, A. T. Yokobori, Jr. and A. Kamei, "Computer Simulation of Dislocation Emission from a Stressed Source", *Philosophical Magazine*, 30, (1974), pp.367-378. (転位群の運動の相似則の発見)
2. A. T. Yokobori, Jr., T. Yokobori and A. Kamei, "Generalization of Computer Simulation of Dislocation Emission under Constant Rate of Stress Application", *Journal of Applied Physics*, 46, (1975), pp.3720-3724.
3. T. Yokobori, S. Konosu and A. T. Yokobori, Jr., "Micro and Macro Fracture Mechanics Approach to Brittle Fracture and Fatigue Crack Growth", *Proceedings of the 4th International Conference on Fracture*, 1977, Canada, 1, (1977), pp.665-682. (論文中の転位の動力学による疲労き裂成長理論は、横堀謙光が主体的に貢献した。)
4. A. T. Yokobori, Jr., T. Yokobori, H. Ohuchi and H. Sasaki, "The Experimental Simulation of Elastic Model of Artery System (Some Behavior of Vascular Substitute Under Repeated Internal Stress)", *Fracture Mechanics and Technology*, Sijthoff & Noordhoff Int. Pub., The Netherlands, Proceedings of an International Conference on Fracture Mechanics and Technology, eds. G. C. Sih and C. L. Chow, 1, (1977), pp.623-638. (世界で初まる、実験的拍動流負荷の下での人工血管の疲労試験と試験法のコンピュータを提案した。)
5. A. T. Yokobori, Jr., T. Maeyama, T. Ohkuma, T. Yokobori, H. Ohuchi, S. Nara, H. Sasaki and M. Kasai, "Bio-Medico-Mechanical Behavior of Natural Artery Blood Vessel Under Constant and Variable Internal Pulsatile Pressure Flow Test In Vitro", *Transaction of the ASME Journal of Biomechanical Engineering*, 108, (1986), pp.295-300.
6. A. T. Yokobori, Jr. and T. Yokobori, "New Concept to Crack Growth at High Temperature Creep and Creep-Fatigue", *Advances in Fracture Research, Proceedings of the 7th International Conference on Fracture (ICF7)*, eds. K. Salma, K. Ravi-chandrar, D. M. R. Taplin and P. Rama Rao, Pergamon Press, Oxford, (1989), pp.1723-1735. (コンプレータの招待講演)
7. A. T. Yokobori, Jr. and T. Yokobori, "The Mechanical Test Method of Cardiovascular and Related Biomaterials", *Bio-Medical Materials and Engineering*, 1, (1991), pp.25-43. (拍動負荷、粘弾性試験を含めた生体材料の力学試験法の提案)
8. A. T. Yokobori, Jr., T. Isogai and T. Yokobori, "A Model Emitting Dislocation Group from Crack Tip with Stress Singularity and its Application to Brittle-Ductile Transition", *Acta Metallurgica et Materialia*, 41, (1993), pp.1405-1411.
9. A. T. Yokobori, Jr., T. Ohkuma, S. Sasaki, H. Yoshinari, T. Yokobori, H. Ohuchi and S. Mori, "Algorithm of the Noninvasive Diagnosis Method on the Atherosclerosis by Ultrasonic Doppler Effect", *Bio-Medical Materials and Engineering*, 4, (1994), pp.87-96. (非侵襲血管疾患診断法の提案論文)
10. A. T. Yokobori, Jr., T. Nemoto, K. Satoh and T. Yamada, "Numerical Analysis on Hydrogen Diffusion and Concentration in Solid with Emission around the Crack Tip", *Engineering Fracture Mechanics*, 55, (1996), pp.47-60. (水素拡散、コンピュータシミュレーション法提案の基礎論文)
11. A. T. Yokobori, Jr., M. Shibata, M. Tabuchi and A. Fuji, "Comparative Study of the Estimation of Creep Crack Growth Behaviour of TiAl by Using a Precrack and a Notch CT Specimens", *Materials at High Temperatures*, 15, (1998), pp.57-62. (高温クリープ初期切欠き試験法の提案、ASTME1457に紹介された。)
12. A. T. Yokobori, Jr., T. Usugi, T. Yokobori, A. Fuji, M. Kitagawa, I. Yamaya, M. Tabuchi and K. Yagi, "Estimation of Creep Crack Growth Rate in IN-100 Based on the Q* Parameter Concept", *Journal of Materials Science*, 33, (1998), pp.1555-1562. (高温クリープ脆性材料のコンプレータの提案、ASTM 446の ISO JTA document)
13. A. T. Yokobori, Jr., Y. Chinda, T. Nemoto, K. Satoh and T. Yamada, "The Characteristics of Hydrogen Diffusion and Concentration around a Crack Tip Con-

- cermed with Hydrogen Embrittlement", *Corrosion Science*, 44, (2002), pp.407-424. (水素脆化敏感性パラメータの提案)
14. A. T. Yokobori, Jr., R. Sugiura, M. Tabuchi, A. Fujii, T. Adachi and T. Yokobori, "The Effect of Multi-axial Stress Component on Creep Crack Growth Rate concerning Structural Brittleness", *Proceedings of the 11th International Conference on Fracture (ICF11)*, (2005), CD-ROM. (高温クリープにおける構造脆性の概念の提案)
15. A. T. Yokobori, Jr., M. Owa, M. Ichiki, T. Satoh, Y. Ohtomo, Y. Satoh, S. Ohgoshi, Y. Kinoshita and S. Karino, "The Analysis and Diagnosis of Unstable Behavior of the Blood Vessel Wall with an Aneurysm Based on Noise Science", *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, 13, (2006), pp.163-174. (血管壁粘弾性とカオス解析による動脈硬化と動脈瘤非侵襲診断法の提案)
16. A. T. Yokobori, Jr., R. Sugiura, T. Ohmi and R. A. Ainsworth, "A Review of Time-dependent Fracture Life Law (or Model) Based on a Proposed Multi-scale Analysis" *Strength, Fracture and Complexity*, 8, (2014), pp.205-218. (時間依存型破壊のマルチスケール解析理論とその検証)
17. R. Taniguchi, A. Hosaka, T. Miyahara, K. Hoshina, H. Okamoto, K. Shigenatsu, T. Miyata, R. Sugiura, A. T. Yokobori, Jr. and T. Watanabe, "Viscoelastic Deterioration of the Carotid Artery Vascular Wall is a Possible Predictor of Coronary Artery Disease" *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*, 22, (2015), pp.415-423. (1法が冠動脈疾患を予測する有効な方法であることが東京大学医学部附属病院心臓血管外科を中心とするグループによる四〇〇例の臨床測定研究により検証された。)
- 他 三四九編
- 1137, Edited by H. E. Kambic and A. T. Yokobori, Jr., (1994).
2. 日本学術振興会先端材料強度第一二九委員会編 材料強度と破壊学—創造的發展と応用— (一九九九年、笹氣出版印刷(株)発行)。(執筆担当部分) 第十六章第一四・一五節、第七章第二一六節、第八章第二一四節。
3. Handbook of Materials Behavior Models, (2001). [The charged Parts of writing] Section 9 Creep Crack Growth Behavior in Creep-Ductile and Creep-Brittle Materials, pp.597-609, Academic Press.
4. Innovative Testing and Estimation Methods of Hydrogen Embrittlement Under Sustained, Rising and Cyclic Loadings, pp.37-72, (2013). [Published by Japan Society for the Promotion of Science 129th Committee on Strength and Fracture of Advanced Materials Standard, Edited by A. T. Yokobori, Jr., T. Iwadate and R. Sugiura]
- 他 一九編

参考文献

1. Biomaterials' Mechanical Properties, ASTM Special Technical Publication,