

日本学士院賞 受賞者

堀^{ほり}

幸^{ゆき}夫^お



専攻学科目 機械工学・トライボロジー

生年月日 昭和二年八月二二日

略歴 昭和二六年三月 東京大学第一工学部機械工学科卒業

同 二八年一〇月 東京大学工学部講師

同 三〇年六月 東京大学工学部助教授

同 三五年六月 工学博士

同 四〇年一月 東京大学工学部教授

同 六三年四月 日本学術振興会理事

同 六三年五月 東京大学名誉教授

平成 六年四月 金沢工業大学工学部教授（現在に至る）

同 六年六月 金沢工業大学副学長（現在に至る）

日本学士院賞 受賞者

加藤 康司



専攻学科目 機械工学・トライボロジー

生年月日 昭和一八年七月四日
略 歴 昭和四一年 三月

東北大学工学部機械工学科卒業

同 四六年 四月 東北大学工学部助手

同 四九年 三月 東北大学院工学研究科博士課程修了

同 四九年 三月 工学博士

同 五五年 五月 東北大学工学部助教授

同 六二年 四月 東北大学工学部教授

平成 九年 四月 東北大学院工学研究科教授

同 一九年 四月 東北大学名誉教授

同 一九年 四月 日本大学工学部教授

工学博士堀 幸夫氏及び工学博士加藤康

司氏の「トライボロジーに関する研究」

（共同研究）に対する授賞審査要旨

固体間の摩擦の法則の研究は、レオナルド・ダ・ヴィンチ以来、アモントンやクーロンらによりなされ、一八〇〇年までには経験則が確立されていた。その定性的説明はパウデンとテーバらの微小接触点の凝着説により一九二〇～五〇年に与えられた。それ以降においては、微小凝着点の変形機構と滑り出し機構の解明及び多点接触の取り扱い方の探求が主たる対象であった。摩擦の低減に重要な流体潤滑の機構は、一八八三年のタワーの実験によって明らかにされ、一八八六年にレイノルズにより定式化された。以後、流体潤滑の種々の問題がその式により解かれ、わが国でも一九四五年の横堀による往復軸受の潤滑理論等、多くの研究が行われた。他方、一九〇〇年代前半以降急激に高速化した回転機械は、回転速度が危険速度の二倍以上のとき、潤滑油膜に起因する回転軸の異常振動（オイルウィップ）の問題に直面し、回転機械の高速化・長軸化が永く阻まれていた。この時代には機械の高性能化とそのため複雑化のた

めに、高信頼性化も強く求められ始めていた。その結果、一九五〇年以降には、固体の摩擦の法則の研究が急速に活発化し、巨視的法則性の確認と微視機構の理解が課題とされてきた。

これらの背景のもとに、摩擦・摩耗・潤滑に関する科学と技術を統合し包括する学問の必要性が強く認識され、境界学問としての「トライボロジー」なる学術用語がイギリスにおいて一九六六年に導入された。このような潮流の中で、堀 幸夫氏は「堀のオイルウィップ理論」として世界的に認知された回転軸異常振動回避の理論を確立し、加藤康司氏は「摩耗形態図」を創成して世界の摩耗研究を主導する、などトライボロジーの学問の構築と技術の発展に大きく貢献した。以下に両氏の業績の概要を説明する。

堀氏のオイルウィップ理論は、油膜で支えられた回転軸の動力学的特性を詳細に調べ、自励振動としてのオイルウィップの本質を世界で初めて明らかにしたばかりでなく防止法も示したもので、これにより各種回転機械の高速化、発電機等の長軸化（低危険速度化）を可能にした。発電機の出力は当時二〇万kW以下にすぎなかったが、ロータの長軸化により一〇〇万kW以上に急増大した。現在一〇〇万kW級発電機は危険速度の二倍より遙かに高い五～六倍で運転されている。

また同氏は、危険速度の二倍以上で運転される回転軸は地震等の

外乱により突然オイルウィップを起こす危険性のあることを世界で初めて指摘し、数値計算等により設計段階でその回避を確認する動的耐震設計法を示した。

同氏は以上の理論を蒸気タービン発電機等の多軸受長大軸系に拡張し、その安定性への軸受変位の影響を明らかにした。また線形理論では不安定となる領域での安定なりミットサイクルの可能性、浮動ブッシュ軸受で支えられた回転軸の安定性等、学術上重要な問題を解明した。更に高速軸受で重要な潤滑膜の温度上昇の詳細な解析と実験的検証、乱流潤滑膜の混合距離モデル及び γ モデルによる詳細な解析と実験的検証、トムズ効果の応用等で大きな業績を挙げた。

同氏は以上の研究成果を我が国初の専門書「流体潤滑」(養賢堂 二〇〇二)に取りまとめた外、その英訳「Hydrodynamic Lubrication」(Springer 2006)を出版した。

加藤氏は微小凝着点の変形と滑り出しの微視機構をモデル試験と接触面内滑りの可視化法により明らかにし、静止摩擦係数の発生機構の説明を与えた。摩擦に関しては、走査型電子顕微鏡内摩擦試験機の開発により、微視的摩擦形態と摩擦粒子形態の関係を明らかにした。その成果は国内大型発電設備の故障予知などに広く用いられている。さらに、観察された微視的摩擦形態と滑り線理論による摩

擦係数を結びつけることにより、摩擦と摩擦を統合した摩擦形態図を創成し、摩擦形態の予測を初めて可能にした。それは耐摩擦設計の基礎を与えるウェアマップとして摩擦研究の世界的潮流の源となつた。

このほか、同氏の発明によるトライボコーティング潤滑法は長期宇宙使用の玉軸受に適用され、国際宇宙ステーションにおける暴露試験を経て、実用化への開発途上にある。窒素ガス中の窒化炭素膜の低摩擦現象の発見と窒素ガス潤滑の実証は新潤滑法を可能にし世界の注目するところとなっている。セラミックスの水潤滑は給排水ポンプ等に実用化されている。超音波による摩擦駆動を導入した精密位置決めステージは半導体検査装置に用いられており、液晶配向用ラビング布評価法は学会と産業界から高く評価されている。

両氏の以上の業績はトライボロジーを学問として確立するための基礎的諸理論の構築を行い、さらに発電、生産、情報、環境、宇宙など広大な分野におけるトライボロジーの先端技術を開拓したものであり、国内外の学界と産業界から高い評価を与えられている。

それらの成果に対して、堀氏は日本機械学会論文賞(三回)、日本潤滑学会論文賞、東京都功労者(科学技術)、紫綬褒章、勲三等旭日中綬章等、多くの賞を授与されている。加藤氏は米国機械学会(ASME)論文賞、ASME Mayo D. Hersey Award、米国トライボロジ

ー学会国際賞、スウェーデン王立工学科学アカデミー Jacob Wallenberg Award 等、多くの賞を授与され、スウェーデン王立工学科学アカデミーの外国会員に選出されている。

堀 幸夫氏 主要な著書及び論文目録

- I. 著書(以下を含め七冊。共著を含む。)
 1. 山本善之・堀 幸夫、「固体力学」、岩波書店(一九七六)。
 2. 堀 幸夫、「流体潤滑」、養賢堂(二〇〇一)。
 3. Yukio Hori, "Hydrodynamic Lubrication," Springer-Verlag (2006).
 - I. 訳書(一冊)
 1. 堀 幸夫訳、「粘弾性学」、培風館(一九七三)。(原書: Wilhelm Flügge, "Viscoelasticity," Blaisdell Publishing Co. (1967))
 - II. ハンドブック、百科事典等(企画、分担執筆)(二一冊)
 - III. 論文
- 堀氏には約一四五編の研究論文があるが、表題の研究に関する主要な論文を以下に掲げる。
- オイルウィンプ関係(以下を含め四二編)
1. Y. Hori, "A Theory of Oil-Whip in Journal Bearings," Proc. of the 5th Japan National Congress for Applied Mechanics, Sept. 1955, pp. 395-398.
 2. Y. Hori, "A Theory of Oil Whip," Trans. ASME, Ser. E, Journal of Applied Mechanics, Vol. 26 (1959), pp. 189-198.
 3. M. Tanaka and Y. Hori, "Stability Characteristics of Floating Bush Bearings," Trans. ASME, Journal of Lubrication Technology, Vol. 94 (1972), pp. 248-259.
 4. T. Nasuda and Y. Hori, "Influence of Misalignment of Support Journal

- Bearings on Stability of Multi-Rotor Systems," Proc. IFToMM International Conference on Rotordynamic Problem in Power Plants, Rome, Sept. 1982, pp. 389-395.
 5. M. Malik and Y. Hori, "An Approximate Nonlinear Transient Analysis of Journal Bearing Response in Unstable Region of Linearized System," Proc. IFToMM-JSME International Conference on Rotordynamics, Tokyo, Sept. 1986, pp. 217-220.
 6. T. Kato and Y. Hori, "Matrix Form of Reynolds Equation," JSME International Journal, Vol. 31 (1986), pp. 444-450.
 7. Y. Hori, "Anti-Earthquake Considerations in Rotordynamics," Proc. 4th IMechE International Conference on Vibrations in Rotating Machinery, Edinburgh, Sept. 1988, pp. 1-8.
 8. Y. Hori and T. Kato, "Earthquake-Induced Instability of a Rotor Supported by Oil Film Bearings," Trans. ASME, Journal of Vibration and Acoustics, Vol. 112 (1990), pp. 160-165.
 9. M. Tanaka and Y. Hori, "Stability Characteristics of Worn Journal Bearings," Proc. IFToMM 3rd International Conference on Rotordynamics, Lyon, Sept. 1990, pp. 93-97.
 10. T. Kato, H. Matsuoka and Y. Hori, "Seismic Response of a Linearly Stable, Misaligned Multirotor System," Tribology Transactions, STLE, Vol. 36 (1993), pp. 311-315.
- 流体潤滑一般(以下を含め一九編)
1. Y. Hori, A. Hasuke, T. Higashi and Y. Nagase, "A Study on Foil Bearings-An Application to Tape Memory Devices," Proc. of 1975 Joint ASME-JSME Applied Mechanics Western Conference, Honolulu, Hawaii, March 24-27, 1975, pp. 121-125, #D-5, Bulletin of JSME, Vol. 20 (1977), pp. 381-387.
 2. H. Fukayama, M. Tanaka and Y. Hori, "Friction Reduction in Turbulent Journal Bearings by Highpolymers," Trans. ASME, Journal of Lubrication

- Technology, Vol. 102 (1980), pp. 439-444.
3. Y. Hori, T. Kato and H. Narumiya, "Rubber Surface Squeeze Film," Trans. ASME, Journal of Lubrication Technology, Vol. 103 (1981), pp. 398-405.
 4. K. W. Kim, M. Tanaka and Y. Hori, "A Three-Dimensional Analysis of Thermohydrodynamic Performance of Sector-Shaped, Tilting-Pad Thrust Bearings," Trans. ASME, Journal of Lubrication Technology, Vol. 105 (1983), pp. 406-413.
 5. S. Kaneko, Y. Hori and M. Tanaka, "Static and Dynamic Characteristics of Annular Plain Seals," Proc. 3rd IMechE International Conference on Vibrations in Rotating Machinery, Univ. of York, England, Sept. 11-13, 1984, pp. 205-214.
 6. T. Kato and Y. Hori, "Pressure Distributions in a Journal Bearing Lubricated by Drag Reducing Liquids under Turbulent Conditions," Proc. JSLE International Tribology Conference, July 8-10, 1985, Tokyo, Japan, pp. 571-576.
 7. J. Mitsui, Y. Hori and M. Tanaka, "An Experimental Investigation on the Temperature Distribution in Circular Journal Bearings," Trans. ASME, Journal of Lubrication Technology, Vol. 108 (1986), pp. 621-627.

加藤康成氏 主要な著書及心齋文田蔵

I' 著書 (分冊著書。公任と如命 | 二冊)

1. K. Kato, "Friction and Wear" (ed. by R. W. Cahn, P. Hassen and E. J. Kramer, "Materials Science and Technology-Vol.6" VCH, Weinheim, Germany, 1993), Chap. 16, pp. 635-680.
2. K. Kato, "Physical Models of Wear, Prediction of Wear Modes" (ed. by J. LeMaitre, "Handbook of Materials Behavior" Academic Press, France, 2001), Chap. 8.7, pp. 787-791.
3. K. Kato, "Nanoscale Analysis of Wear Mechanisms" (ed. by S. M. Hsu and Z.

C. Ying, "Nanotribology" Kluwer Academic Publishers, USA, 2003), Chap. 4, pp. 45-54.

4. K. Kato, "Advanced Ceramics" (ed. by J. Vizzutti, M. Kalin, K. Dohda and S. Jahnannir, "Tribology of Mechanical Systems" ASME Press, USA 2004), Chap. 10, pp. 183-203.
- ##### II' 論文 (公任と如命 | 二 | 二冊)

1. T. Kayaba and K. Kato, "Experimental Analysis of Junction Growth with a Junction Model," Wear, Vol. 51 (1978), pp. 105-116.
2. T. Kayaba and K. Kato, "Theoretical Representation of the Coefficient of Friction for Multiple Contact Points," Wear, Vol. 52 (1979), pp. 117-132.
3. K. Kato, T. Kayaba and Y. Ono, "Dislocation Density and Cell Structure Produced in the Substrate Layer of Aluminum During Sliding Wear," Wear of Materials, ASME (1985), pp. 463-470.
4. K. Hokkirigawa and K. Kato, "An Experimental and Theoretical Investigation of Ploughing, Cutting and Wedge Formation During Abrasive Wear," Tribology International, Vol. 21 (1988), pp. 51-57.
5. N. Umehara and K. Kato, "Principles of Magnetic Fluid Grinding of Ceramic Balls," Journal of Applied Electromagnetics in Materials, Vol. 1 (1990), pp. 37-43.
6. K. Kato, H. Furuyama and M. Mizumoto, "The Fundamental Properties of Tribo-Coating Films in Ultra High Vacuum," Proceedings of the Japan International Tribology Conference-Nagoya, 1990, Vol. 1 (1990), pp. 261-266.
7. T. Akagaki and K. Kato, "Ferrotgraphic Analysis of Failure Process in a Full-scale Journal Bearing," Wear, Vol. 152 (1992), pp. 241-252.
8. D. F. Diao and K. Kato, "Interface Yield Map of a Hard Coating under Sliding Contact," Thin Solid Films, Vol. 245 (1994), pp. 115-121.
9. K. Adachi, K. Kato and N. Chen, "Wear Map of Ceramics (2nd Report,

- Construction of Mild-Severe Wear Mode Map)," *Journal of JSME, (C)*, Vol. 63 (1997), pp. 2448-2455.
10. H. C. Wong, N. Umehara and K. Kato, "Frictional Characteristics of Ceramics under Water-Lubricated Conditions," *Tribology Letters*, Vol. 5 (1998), pp. 303-308.
 11. K. Adachi and K. Kato, "Reliable Design of Space System in Tribology Viewpoint," *Proceedings of the 22nd International Symposium on Space Technology and Science*, Vol. 1 (2000), pp. 593-598.
 12. K. Adachi and K. Kato, "Development of Vibration Method of Tribo-System for Evaluation of Rubbing Cloth for LCD," *Journal of JAST*, Vol. 46 (2001), pp. 477-484.
 13. K. Kato, "Water Lubrication of Ceramics," *Proceedings of 2nd World Tribology Conference, Scientific Achievements Industrial Applications Future Challenges* (2001), pp. 51-58.
 14. K. Kato, N. Umehara and K. Adachi, "Friction, Wear and N₂-lubrication of Carbon Nitride Coatings : a Review," *Wear*, Vol. 254 (2003), pp. 1062-1069.
 15. D. F. Wang and K. Kato, "Nano-scale Fatigue Wear of Carbon Nitride Coating : Part I -Wear Properties," *Trans. ASME, Journal of Tribology*, Vol. 125 (2003), pp. 430-436.
 16. K. Adachi, K. Kato, J. Liu and H. Kawamura, "The Effect of Contact Morphology on Initiation and Propagation of Micro-Slip at Contact Interface," *Proceedings of the ASME/STLE International Joint Tribology Conference*, Oct. 24-27, 2004, Long Beach, USA, (2004), TRIB 2004-64389.
 17. K. Kato and K. Ito, "Modern Tribology in Life Cycle Assessment," *Life Cycle Tribology*, D. Dowson et al. (Editors), *Tribology and Interface Engineering Series*, Vol. 48 (2005), Elsevier, pp. 495-506.