

平成 22 年 4 月 28 日現在

研究種目：基盤研究 (B)  
 研究期間：2007～2009  
 課題番号：19380102  
 研究課題名 (和文) 厳環境下での木材の劣化現象と耐久性  
 研究課題名 (英文) Degradation and durability of woody materials in the extreme environments  
 研究代表者  
 今村 祐嗣 (IMAMURA YUJI)  
 京都大学・生存圏研究所・教授  
 研究者番号：70151686

研究成果の概要 (和文)：厳環境下での木材の劣化現象と耐久性の解明から木材の新用途の開発シーズを探求し、その可能性を示唆した。(a)海洋環境では、木質系材料は海虫に加害さるが、プラスチック材料は無害であった。(b)土中環境では、木材残存土壌環境の指標化及び埋没条件と木材保存状態の関係を実証した (c)宇宙環境で使用可能な木材起源の材料創製を試行した。(d)極地環境での難燃木材の燃焼挙動が常態でのそれと大差ないことを実証した。

研究成果の概要 (英文) :The aim of the current research was to propose new ideas and concepts to develop high-functional woody materials based on the research deterioration mechanism and durability of wood under extreme conditions. (a)In marine environment various woody materials were heavily attacked by marine-borers within one year, whereas plastics were free from attack even after two-year exposure. (b) Under Soil-burial environment, the field monitoring at some Japanese ruins suggested the potential indices of residual wood. In addition, the relation between the seasonal variations of some factors and the conserving conditions of wood in the soil. (c) Space environment-applicable materials could be developed from raw woody materials. (d) Polar temperature environment did not cause any difference in combustion behavior of fire-retardants-treated wood.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2008 年度	5,800,000	1,740,000	7,540,000
2009 年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
年度			
総計	12,200,000	3,660,000	15,860,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・林産科学・木質工学

キーワード：木材耐久性、海洋環境、土中環境、宇宙環境、極地環境、耐海虫性、難燃性、電磁波シールド性

## 1. 研究開始当初の背景

木材あるいは木質系材料の海洋環境での劣化発生に関する研究例は多くなく、とりわけ、深海では実験経費が膨大であるため、ほとんど研究されていない。一方、水深10 m以内では海中生物による影響を大きく受け、劣化危険等級としては最高クラスに分類されている。わが国においては間伐材の漁礁材料としての試みや木造船を除き、木材の海中利用は限定されていたことから研究は進展していなかった。

土中からの発掘木材に関しては、樹種識別や回収された木材の保存処理法に関する研究は多くなされているが、土中の特殊な環境下での劣化現象の進行に焦点を当てた研究は無いに等しく、土中環境をシミュレーションした促進劣化実験手法の妥当性について検証を深めることが学術的に強く求められている。さらに、発掘された高含水木材の劣化現象や劣化進行抑止法は研究されていない。さらに、これまでに研究対象にされたことがない「発掘木材量が多い場合、発掘現場で日常的に行われている“埋め戻し処理”中の劣化の進行」について研究することは、木材の特殊環境での劣化現象の解明に重要であるばかりでなく、木質文化財の保存技術の開発に大いに寄与するものである。

宇宙圏における木材利用については今まで検討されることがないといってよい。しかし、最近に至り廃棄衛星によるデブリ（宇宙ゴミ）の問題がクローズアップされ、機能終了後に宇宙空間で分解される特性をもつ材料への関心が高まっている。木材はその諸特性から可能性をもつ材料の一つである。一方、木質カーボン材料が電磁波遮蔽性能など宇宙基材としての機能性も高まりつつある。宇宙での劣化要因の代表的なものとして $\gamma$ 線を取り上げ、 $\gamma$ 線照射木材の性能変化に関する研究に着手してきた。また、宇宙空間で使用可能

な電磁波特性を備えた住環境部材として木質系炭素材料の検討を行い、従来の概念を超える環境での木材利用の検討を開始している。

極地域での建造物については、木材が備えているすぐれた居住性能と極低温域における材料物性の高度の安定性に着目されて、南極の昭和基地に木造のパネル住宅が建設、施用されていることは周知のことである。一方、可燃性の木材を利用する限りにおいて防火・難燃性の付与は居住空間の安全性確保の上で重要な課題であり、特に乾燥状態が長期間持続する極地域では必須の技術課題である。木質の素材感触を活かしながら難燃性をハイレベルに高めるには、木材内部までの完璧な注入処理が不可欠である。接着剤に混入する方法、あるいは拡散法を用いる方法で、これらの課題を克服してきた。木材の注入処理に関する研究では、本研究課題グループが世界をリードしている。

## 2. 研究の目的

木材の劣化機構の解明と耐久性向上は、固定された炭素の放出を防ぐという観点から地球温暖化防止の有力な手段であり、また資源の持続的利用を進める上で重要な課題である。このため、従来から腐朽やシロアリによる生物的劣化、あるいは紫外線等の気候因子による劣化と防止法の検討が行われてきた。しかし、従来の技術開発や研究の取り組みは、通常の使用環境における劣化現象を対象としているため、現状の木材利用には大いに貢献するものの、新たな木材の用途展開のシーズになるものではなかった。そこで、劣化条件としては通常では予測されない特殊な環境下での木材の耐久性について新たな研究課題を提案することにした。すなわち、「厳環境下における木材の劣化現象の解明と耐久性評価に基づく木材の新用途開発」を新規研究分野と位置付けた。厳環境を、(a)海洋、(b)高含水

率状態で長期間の土壌埋設、(c)宇宙圏(たとえば、宇宙ステーション材料)、(d)高難燃性が要求される極地域の建造物(たとえば、南極観測用の建屋)に類別して、

- I. 発生する劣化現象の理論的・実証的解明、
  - II. 各環境下における木材劣化抑止法の効果に関する実験的証明、
  - III. 現実的に可能な劣化抑止法の検討、
- を実施し、これらの研究結果から特殊な厳環境下での木材の劣化現象を解明し、耐久性評価に基づく新たな木材の用途開発を提言する。

### 3. 研究の方法

厳環境別に以下の方法を採用した。

(a)海洋：木質系及びプラスチック材料を海中浸漬試験に供した。海中中浸漬1年あるいは2年経過後の劣化状態に関する目視評価を実施する。通常、材料表面に付着している様々な汚損生物を除去し、材料表面の表面性状から劣化度を判定し、評価値として記録した。供試材料に穿孔したフナクイムシに関しては、軟X線撮影を行った。

(b)土壌埋設：出土木材はその大半が「軟腐朽菌」によって劣化していることから、代表的な軟腐朽菌であり、かつ人工培養の可能な *Chaetomium* による促進試験法を検討した。「埋め戻し」木材に関する実験材料は発掘現場で調達し、埋め戻し中の劣化進行抑止実験の劣化進行抑止実験のための処理法(脱酸素法、燻蒸処理)に対応したシミュレーションテストと劣化現象の解明に努めた。

(c)宇宙圏：研究協力機関に依頼して照射レベルの異なるγ線照射木材調製し、γ線照射木材の特質、特に、生物劣化抵抗性などを検討した。また、触媒を活用して異なる加熱温度と雰囲気下で調製した電磁波遮蔽性木質系炭素材料の物理的特質を、また、木質カーボン材料と金属との複合体を調製し、その電磁波特性を評価した。

(d)極地域：極地観測に不可欠な建築資材の難燃性は資材選択の重要な要因である。難燃処理木質系材料の室内及び野外試験を行った。

### 4. 研究成果

(a)海洋環境：2007年9月14日に海中親戚実験を開始した。浸漬は神奈川県横須賀市長瀬

3-1-1 港湾空港技術研究所が所有する屋外の海水循環水槽で実施した。水深は、干潮時0~1.0m、満潮時1.5~2.5m(水槽内にポンプで海水を給排水し1日に2回人工的に1.5mの干満。底面からの水位は干潮時1m、満潮時2.5m。常時海中にある底面から1mの範囲に供試材料を浸漬した。海水温は2月上旬に最低となり、10~12℃を記録した。最高水温は8月上旬の25~27℃であった。塩分濃度は周年大きな変動はなく、約33%前後であった。測定項目は海中浸漬前後の重量測定と回収時の表面性状や写真による目視及び軟X線撮影写真に基づく内部劣化の評価を年1回実施した。得られた結果は以下の通りである。木材、合板、プラスチック、木材プラスチック成形複合材に関する海中暴露試験の1年経過後の調査では、木質系材料の多くが加害されたが、WPCを含むプラスチック材料には加害がなかったことを確認した。海中浸漬2年経過後の調査を実施したが、1年後と同様の結果であった。

(b)土中環境：軟腐朽菌 *Chaetomium* による促進試験法を室内試験で検討した。実験方法と結果は以下の通りであった。培地は4種。**培地I**(寒天)：グルコース 30g、ペプトン 10g、麦芽抽出物 20g、寒天 20g、水 1ℓ。**培地II**(寒天)：セルロース粉末 10g、グルコース 2.5g、酵母抽出物 0.5g、 $K_2HPO_4$  1.0g、 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  0.5g、 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  0.01g、 $NH_4NO_3$  1.0g、 $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  0.01g、寒天 20g、水 1ℓ。**培地III**(寒天)：(Duncan's 培地II - A)  $KH_2PO_4$  5.0g、 $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  4.0g、 $K_2HPO_4$  4.0g、 $NH_4NO_3$  6.0g、グルコース 2.5g、寒天 20g、水 1ℓ、pH4.5 (HCl)。**培地IV**(バーミキュライト)： $NH_4NO_3$  3.0g、 $K_2HPO_4$  2.56g、KCl 1.02g、NaCl 0.05g、 $FeSO_4$  0.001g、 $MnSO_4$  0.001g、 $ZnSO_4$  0.001g、水 1ℓ、pH6.2 (0.25mol  $H_2SO_4$ )。菌種：*Cheatmium globosum* Kunze 3菌株(NBRC 菌株番号：6347、31836、32038)。

**培養温度**：26℃。**培養湿度**：77%。**培養期間**：3か月。**容器**：450ml 容丸底ガラス製瓶。**培地量**：150ml (培地I~III)、バーミキュライト 125ml×2 に対する培養液(WHC-3ml) (培地IV)。**試験体数**：瓶毎にブナ辺材 2個+スギ辺材 2個(試験体寸法：2 x 2 x 0.5 cm)ずつ設置。繰返し(瓶)数は5。**菌の接種源**：予

備培養 (PDA) した菌そう片。

スギ辺材では、菌株と培地の組み合わせに関係なく、平均質量減少率は1%以下であった。一方、ブナ辺材では、菌株と培地の木見合わせによって平均質量減少率は大きく変動した。各培地と菌株組み合わせ毎の平均質量減少率は、培地 I-6347、31836、32038 では、それぞれ 31、0、7%、培地 II では 2、5、52%、培地 III では 24、31、18%、培地 IV では 55、27、40%であった。菌株に関係なく培地 IV が促進試験に最適であることが実証された。また、鳥取県青谷上寺地遺跡の木製遺物の埋蔵環境調査では、埋蔵環境 (pH、DO、ORP) の季節変動があることを確認し、埋没していた土壌 (シルト、砂、粘土) による相違と木製遺物の遺存状態との関連性を解明し、埋め戻し条件下での劣化進行を考察する上で有用な知見が得られた。

(c) 宇宙環境： $\gamma$ 線照射によって木材が劣化することを見出した。特に、 $\gamma$ 線照射木材が選択的にシロアリに食害されることから、 $\gamma$ 線照射木材のシロアリ防除への応用を検討し、ベイト剤を利用する駆除法への適用の可能性を示唆した。また、700°Cで1時間予備炭化したスギ材を1300°Cで焼結して得られた導電性木質炭素化物からなる板材料の電磁波遮蔽性能を調べたところ、アルミニウム板と同等の電磁波遮蔽効果を有することが判明した。

(d) 極地環境：550°C、30分間の室内燃焼試験による無処理材、内装用準不燃材 (150kg/m<sup>3</sup> 薬剤注入) 及び内装用不燃材 (170kg/m<sup>3</sup> 薬剤注入) の質量減少率は、それぞれ 45.0、24.8、21.5%であった。燃焼後の10分間は、処理に関係なく同様な温度上昇を示したが、10分以降、準不燃材、不燃材の温度上昇は緩慢になり、30分後には無処理材よりも約100°C低かったことから、不燃材の断熱効果を確認した。トリメチルホウ素気相処理した木質材料は生物劣化抵抗性液相処理と同様の耐朽・耐蟻性を示し、ホウ酸等量として重量当たり10%の吸収料があれば、内装用準不燃材以上の難燃性を有することを実証した。

低温度環境下での燃焼挙動実験を冬季の北海道 (外気温-20°C以下) で実施し、常温下での挙動とは異なるものの難燃性に支障が

ないことを証明した

難燃処理木材の低温度環境下での燃焼挙動実験を内装用不燃材及び内装用不燃材を用いて作製した小型モデルハウスを用いて、冬季 (外気温-20°Cと-10°C前後) に実施した。常温下での挙動とは異なるものの外気温-20°Cと-10°Cの場合では大差なく、20分間の難燃性に支障がないことを実証した。

## 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15件)

- ①高妻洋成, 脇谷草一郎, 肥塚隆保, 家塚英詞 2010. 木製遺物を包含する埋没環境の調査—青谷上寺地遺跡の土壌と地下水—. *考古学と自然科学*(印刷中). (査読有)
- ②K. Tsunoda, G. Rosenblat and K. Dohi 2010. Laboratory evaluation of the resistance of plastics to subterranean termite *Coptoteres formosanus* (Blattodea: Rhinotermitidae). *International Biodeterioration & Biodegradation* **64**, 232-237. (査読有)
- ③Joko Sulisty, T. Hata, H. Kitagawa, P. Bronsveld, M. Fujisawa, K. Hashimoto and Y. Imamura 2010. Electrical and thermal conductivities of porous SiC/SiO<sub>2</sub>/C composites with different morphology from carbonized wood. *J Mater Sci* **45**, 1110-1116. (査読有)
- ④山田昌郎 2010. 無処理木材の東京湾沿岸での海虫類食害ならびに気中での物理的劣化に関する実験. *港湾空港技術研究所資料* **1208**, 1-16. (査読無)
- ⑤K. Nakai, T. Mitani, T. Yoshimura, N. Shinohara, K. Tsunoda and Y. Imamura 2009. Effects of microwave irradiation on the Drywood termite *Incisitermes minor* (Hagen). *Jpn. J. Environ. Entomol., Zool.* **20**, 179-184. (査読有)
- ⑥S. Kubota, H. Okamoto, N. Goto, N. Mito and K. Tsunoda 2009. Uptake of bait toxicant, bistrifluron, by foraging workers of *Coptotermes formosanus* (Blattodea: Rhinotermitidae). *Sociobiology* **53**, 707-717. (査読有)
- ⑦N. Katsumata, K. Tsunoda, A. Toyoumi, T. Yoshimura and Y. Imamura 2008. Feeding preference of *Coptotermes formosanus*

- (Isoptera: Rhinotermitidae) for gamma-irradiated wood impregnated with bezoylphenylurea compounds under laboratory conditions. *Journal of Economic Entomology* **101**, 880-884. (査読有)
- ⑧T. Kataoka, Y. Kurimoto, and Y. Kohdzuma 2008. Fundamental research on waterlogged wood conservation using lignophenol *Transactions of the Materials Research Society of Japan* **33**, 1137-1140. (査読有)
- ⑨S. Kubota, Y. Shono, N. Mito and K. Tsunoda 2008. Termiticidal efficacies of fenobucarb and permethrin against Japanese subterranean termites *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes speratus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **19**: 31-37. (査読有)
- ⑩S. Kubota, Y. Shono, N. Mito and K. Tsunoda 2008. Lethal dose and horizontal transfer of bistrifluron, a benzoylphenylurea, in workers of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae). *J. Pestic. Sci.* **33**, 243-248. (査読有)
- ⑪N. Katsumata, T. Yoshimura, K. Tsunoda and Y. Imamura 2007. Differences in the termite feeding on gamma-irradiated wood specimens between three laboratory colonies of *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology* **49**, 143-150. (査読有)
- ⑫N. Katsumata, K. Tsunoda, A. Toyoumi, T. Yoshimura and Y. Imamura 2007. Comparative termite (Isoptera: Rhinotermitidae) feeding preference among gamma-irradiated and unirradiated wood *Sociobiology* **50**, 155-162. (査読有)
- ⑬S. Kubota, Y. Shono, T. Matsunaga and K. Tsunoda 2007. Response of the subterranean termite *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae) to soil treated with microencapsulated fenobucarb. *Pest Manag. Sci.* **63**, 1224-1229. (査読有)
- ⑭S. Kubota, Y. Shono, T. Matsunaga and K. Tsunoda 2007. Termiticidal efficacy of bistrifluron as a bait toxicant against the Japanese subterranean termites *Coptotermes formosanus* and *Reticulitermes speratus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *Sociobiology* **50**, 623-631. (査読有)
- ⑮K. Ishimaru, T. Hata, P. Bronsveld, T. Nishizawa and Y. Imamura 2007. Characterization of sp<sup>2</sup>- and sp<sup>3</sup>-bonded carbon in wood charcoal. *Journal of Wood Science* **53**, 442-448.
- [学会発表] (計 17 件)
- ①丸 尚孝, 角田邦夫, 吉村 剛, 今村祐嗣 2010. ベイト工法における誘引・滞留物質の検索. 第 60 回日本木材学会年次大会, 2010 年 3 月 17 日, 宮崎.
- ②山田昌郎, 角田邦夫, 今村祐嗣 2010. 木材プラスチック成形複合材 (WPC), 耐水合板, プラスチック, ゴムの耐海虫性—海中浸漬 2 年後の結果—. 第 60 回日本木材学会年次大会, 2010 年 3 月 17 日, 宮崎.
- ③Farah Diba and T. Yoshimura 2010. Effect of oil palm vinegar on hydrogen and methane emission of *Coptotermes formosanus* Shiraki (Blattodea: Rhinotermitidae). *The 7<sup>th</sup> Termite Research Group Conference*, March 1-2 March 2010, Singapore.
- ④A. Yanagawa, F. Yokohari, K. Tsunoda, Y. Imamura and T. Yoshimura: Role of antennae in the detection of ambient humidity by the termite, *Coptotermes formosanus*. *The 7<sup>th</sup> Termite Research Group Conference*, March 1-2 March 2010, Singapore.
- ⑤Y. S. Hadi and K. Tsunoda 2010. Comparison of the Termite Test Methodology of Japanese and Indonesian National Standards. *The 7<sup>th</sup> Termite Research Group Conference*, March 1-2 March 2010, Singapore.
- ⑥A. Yamada, S. Saitoh, G. Tokuda, S. Fujii, Nobu Endo, E. Ueshima, Y. Tawa, M. Miyagi, H. Makiya, N. Shinzato, C.-Y. Lee and K. Tsunoda 2010. Genetic Diversity of the Formosan Subterranean Termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki in Relation to the Distribution of Staphylinid Termitophiles. *The 7<sup>th</sup> Termite Research Group Conference*, March 1-2 March 2010, Singapore.
- ⑦梶本武志, 畑 俊充, 田川雅人, 小嶋浩嗣, 山川宏, 上田義勝 2009. 宇宙用木質材料への原子状酸素の照射効果. 第

- 133 回生存圏シンポジウム, 第2回宇宙環境利用シンポジウム, 2009年12月4日, 宇治.
- ⑧ 畑 俊充 2009. 焼結条件によるスギ炭素化物の表面化学構造の変化. 第7回木質炭化学会研究発表会, 2009年6月11日, 京都.
- ⑨ 梶本武志, 畑 俊充, 今村祐嗣 2009. 乳酸蒸解炭素化物の構造分析. 第7回木質炭化学会研究発表会, 2009年6月11日, 京都.
- ⑩ 山田昌郎, 角田邦夫, 今村祐嗣 2009. 木材プラスチック成形複合材 (WPC), 耐水合板, プラスチック, ゴムの耐海虫性—海中浸漬1年後の結果—. 第59回日本木材学会年次大会, 2009年3月16日, 松本.
- ⑪ J. Azuma, A. Yamada, H. Takeda, T. Fukasawa, K. Tsunoda and T. Yoshimura 2009. Difference in digestibility of pine wood by two subterranean termites, *Coptotermes formosanus* Shiraki and *Reticulitermes speratus* (Kolbe) (Blattodea: Rhinotermitidae). *The 6th Termite Research Group Conference*, March 2-3 March 2009, Kyoto.
- ⑫ M. Lenz, M., C.-Y. Lee, A. Adachi, N. Maru, T. Yoshimura and K. Tsunoda 2009. From waste paper to food supplements with the help of termites? *The 6th Termite Research Group Conference*, March 2-3 March 2009, Kyoto.
- ⑬ K. Nakai, T. Mitani, T. Yoshimura, N. Shinohara, K. Tsunoda and Y. Imamura 2009. Microwave technology as a non-destructive termite control method - Preliminary results. *The 6th Termite Research Group Conference*, March 2-3 March 2009, Kyoto.
- ⑭ C. Tascioglu, K. Umemura and K. Tsunoda 2009. Termiticidal performance of Zinc borate-incorporated particleboard. Termiticidal performance of zinc borate-incorporated particleboard. *The 6th Termite Research Group Conference*, March 2-3 March 2009, Kyoto.
- ⑮ K. Tsunoda 2008. Performance of wood-based composites in a protected aboveground test. *IRG39* May 27, 2008, Istanbul, Turkey.
- ⑯ K. Tsunoda and T. Yoshimura 2008. History of termite management by soil

treatment with chemicals - why were uses of chlordane banned? *The 5th Conference of the Pacific Rim Termite Research Group*, Bali, Indonesia, March 3-4, 2008.

- ⑰ K. Tsunoda and R. Yamaoka 2007. Determination of the lethal dose of fipronil for workers of *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae). *IRG38*, Jackson Hole, Wyoming USA May 20-24, 2007.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

今村 祐嗣 (IMAMURA YUJI)  
京都大学・生存圏研究所・教授  
研究者番号: 70151686

### (2) 研究分担者

角田 邦夫 (TSUNODA KUNIO)  
京都大学・生存圏研究所・准教授  
研究者番号: 30127104

吉村 剛 (YOSHIMURA TSUYOSHI)  
京都大学・生存圏研究所・教授  
研究者番号: 40230809

畑 俊充 (HATA TOSHIMITSU)  
京都大学・生存圏研究所・講師  
研究者番号: 10243099

高妻 洋成 (KOZUMA YOSEI)  
独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所・埋蔵文化センター・保存修復科学  
研究員  
研究者番号: 80234699

山田 昌郎 (YAMADA MASAO)  
独立行政法人港湾空港技術研究所・地盤・  
構造部・主任研究員  
研究者番号: 30371769

吉澤 伸夫 (YOSHIKAWA NOBUO)  
宇都宮大学・農学部・教授  
研究者番号: 20008056