

4. 共同研究の概要と成果

共同研究の概要

拠点大学事業において最も重要な事業が共同研究である。この共同研究は基本的に一つの研究課題を3年間で完結させるもので、26課題の共同研究を実施してきた。

共同研究の推進にあたっては、本拠点校プログラム“木質科学”の分野において重要な課題である、「循環型社会を目指した熱帯森林資源の持続的な活用」のため、下記に示す4つの主要カテゴリーに沿って実施してきた。

- 1) 熱帯木質資源の持続的利用のための木質材料科学
- 2) 熱帯産樹種を対象とする木質バイオマス利用技術の開発
- 3) 熱帯産樹種を対象とする木質生命科学およびその応用技術の開発
- 4) 森林資源と環境科学の横断的研究プロジェクト

この研究目標に沿って、実施された26研究課題は次のとおりである。

カテゴリー1)

- (課題 1) 早生樹、竹、農産廃棄物を用いた木質セメントボードの開発と住宅外装サイジングとしての適用性
- (課題 2) 早生樹ならびに農産廃棄物を原料にした化学修飾木質材料の耐候性
- (課題 3) 水熱処理による早生樹圧密化木材および木質材料の高寸法安定化
- (課題 4) 農産廃棄物および早生樹を用いた耐火性木質材料の開発
- (課題 5) 早生熱帯樹種の生長機構
- (課題 9) 早生樹種および低利用樹種の最適機械加工および乾燥技術の開発
- (課題 10) 竹材の軟化挙動とそれを応用した加工
- (課題 11) 熱帯産木質資源の高耐久利用技術の開発
- (課題 18) 木質系複合材料の熱帯での生物的劣化防止と難燃性付与のための新しい試み
- (課題 19) 熱帯産木材からの構造用 LVL の開発とその住宅構造部材としての性能評価
- (課題 20) アカシアマンガウムの総合的利用
- (課題 22) インドネシア産主要樹種の特性評価ならびに未利用樹種の新規用途開発
- (課題 26) 持続可能型リグノセルロース及び接着剤原料を用いた環境に優しいバイオマテリアルの開発研究

カテゴリー 2)

- (課題 6) 生物的手法を用いる熱帯産木質資源からのパルプ・紙の生産
- (課題 7) 熱帯産広葉樹の生理活性抽出成分の探索と同定
- (課題 1 2) 有機系廃棄物のコンポスト化による資源化・循環
- (課題 1 6) 熱帯産造林木のパルプ化および漂白過程における抽出成分の挙動
- (課題 2 4) 未利用植物資源からのセルロース系材料とバイオマスケミカルの生産

カテゴリー 3)

- (課題 8) 熱帯樹木における木部形成の特質解明と材質特性の評価
- (課題 1 3) 造林チークの育林条件がその材質に及ぼす影響
- (課題 1 5) 森林生態系における共生ならびに腐朽性担子菌類に特有な有機酸代謝の生化学的解析
- (課題 1 7) ハイグレード熱帯造林木の解剖学的性質と材質特性
- (課題 2 1) インドネシア産薬用植物および銘木由来の新規生理活性物質の検索
- (課題 2 3) 熱帯早生樹の組織培養と分子育種

カテゴリー 4)

- (課題 1 4) オイルパームのゼロエミッションプロセス
- (課題 2 5) 循環型社会の構築に向けた熱帯森林資源の持続的生産・利用に関する俯瞰的研究

本拠点校プログラムの共同研究に関しては、当初、木質材料科学の研究が先行したが、その後、林産バイオマス利用技術や木質生命科学およびその応用技術まで広がり、さらに、森林資源と環境科学の横断的研究プロジェクトまで拡大してきた。また、本拠点校事業が、余すところ2カ年半となった2003年度には「循環型社会の構築に向けた熱帯森林資源の持続的生産・利用に関する俯瞰的研究」(課題25)を立ち上げ、過去の総括と今後の進むべき方向性につき検討を行っている。

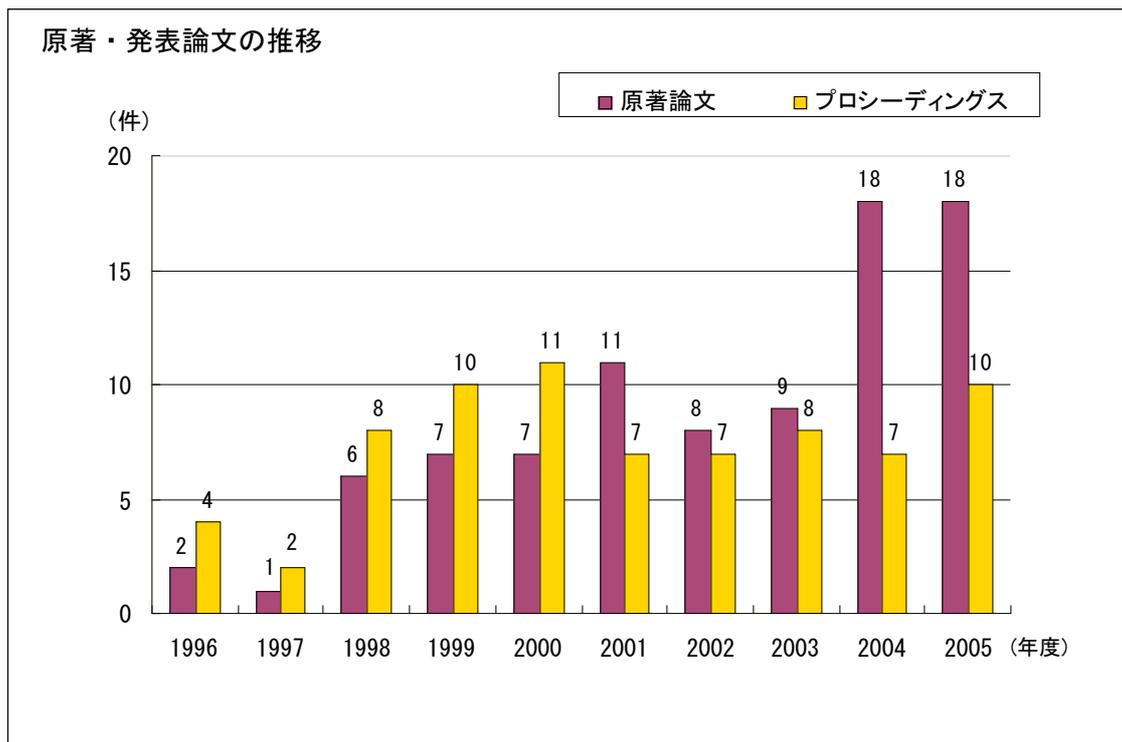
これら国際共同研究の日本側代表研究者は、15課題が拠点大学、残りの11課題が協力大学の研究者であり、国内協力大学の研究者が共同研究の代表者として積極的に本事業に参画していることを示し、当研究所が日本側拠点大学としての役割を果たしているといえる。相手国側代表研究者についても、15課題が拠点大学、残りの11課題が協力大学の研究者(うち1課題は、マレーシア)であり、インドネシア科学院が中心となりながら広くインドネシア国内において共同研究を実施している。

共同研究の成果

共同研究の成果は、原著論文として国際学術雑誌に発表されるとともに、国内の学会はもとよりさまざまな国際会議などで公表されてきた。これらのうちには、Proc. Natl. Acad. Sci. USA など、所謂インパクトファクターの高い雑誌への発表も含まれている。また、本事業では、1996 年以来、隔年に国際木質科学シンポジウム（International Wood Science Seminar/Symposium）を開催してきたが、そこにおいても共同研究の成果が発表されている。

さらに、共同研究の成果は、論文や研究報告以外に実用化されたり、あるいは学術面でさまざまな波及効果を及ぼしているものも多い。

以下に、原著論文および国際会議プロシーディングスの数を年度ごとに示し、さらに、課題ごとの成果の概略をまとめる（参加者の所属、職名は実施時のもので表示した）。また、本項目の最後には、共同研究の実施状況を示す写真を示す。



早生樹、竹、農産廃棄物を用いた木質セメントボードの開発と住宅外装サイジングとしての適用性

Cement Bonded Particleboard from Fast-Growing Trees, Bamboo and Agrowastes, and its Application to Housing Exterior Siding

研究期間：平成8年度～平成10年度

* 川井 秀一	京都大学木質科学研究所
今村 祐嗣	京都大学木質科学研究所
吉村 剛	京都大学木質科学研究所
畑 俊充	京都大学木質科学研究所
佐々木 光	秋田県立農業短期大学木質高度加工研究所
山内 秀文	秋田県立農業短期大学木質高度加工研究所
* Bambang SUBIYANTO	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Sulaeman YUSUF	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Yanni SUDIYANI	Research Center for Chemistry, LIPI
SUBYAKTO	R&D Center for Applied Physics, LIPI
I. M. SULASTININGSIH	Research and Development Center for Forest Products Technology
Anita FIRMANTI	Research Institute for Human Settlements

早生樹、竹材および農産廃棄物等を原料に用い、各種無機添加物と蒸気噴射プレス法を適用して木質セメントボードの急速硬化技術を開発する。さらに、木質セメントボードの耐火性能、防腐・防虫性能、および耐候性を調べ、建築の外装部材としての適用性を検討し、インドネシアにおける新しい外装壁材供給のための総合的な製造および利用技術の開発を行う。

研究成果

3年間にわたり、合計3名の日本人研究者の派遣と3名のインドネシア研究者受入れを行い、共同研究を進めた。また、平成10年度には博士課程編入学者を受け入れ、13年度に学位を取得し、現在母校で教育と研究を継続している。

得られて主な研究成果は以下の通りである。

- 1) セメントー竹／オイルパーム／熱帯草生樹の粉末混合系の水和反応熱を測定し、適合係数および阻害係数を算出して、これらのセメント硬化阻害性を明らかにした。これを改善するために、温冷水抽出や醗酵などの前処理および水和促進剤添加の効果を実証した。
- 2) 従来法（コールドプレス）によって竹セメントボードを製造し、その材質を調べて、前処理や水和促進剤の効果を確かめた。さらに、適当な水和促進剤を添加し、蒸気噴射プ

レス法あるいはホットプレス法を適用した迅速成型技術の開発を試み、ホットプレス法と過熱養生法という比較的簡単な装置、手法によって、優れた材質をもつ竹セメントボードを短時間で成型、製造することに成功した。

- 3) 同様に、従来法（コールドプレス）によってオイルパームセメントボードを製造し、その材質を調べて、水和促進剤の効果を確かめた。
- 4) 超臨界二酸化炭素養生による新しい高性能木質セメントボードの迅速製造法を開発した。なお、関連技術に関して特許を申請した。

研究業績

1. Ma, L., Pulido, O. R., Sasaki, H., Kuroki, Y., Nagadomi, W., Kawai, S.: New Methods of Production and Treatment of Bamboo-Cement Composites, Proc. 6th Inorganic Bonded Wood & Fiber Composite Materials Conf., p.315-322, 1998
2. Kawai, S., Subiyanto, B., Ma, L., Hermawan, D., Sulastiningsih, I. M., Hata, T., Sasaki, H.: Cement Bonded Particleboard from Non-Wood Lignocellulosic Materials, Proceedings of the 2nd International Wood Science Seminar, B28, 1998
3. Sulatiningsih, I. M., Ma, L.F., Amin, M. Z., Kawai, S.: Predicting the Compatibility of Some Indonesian Bamboos with Cement by Hydration Test, Proceedings of the 2nd International Wood Science Seminar, C198, 1998
4. Subiyanto, B., Sulastiningsih, I. M., Hermawan, D., Umemura, K., Hata, T., Kawai, S.: Production Technology of Oil Palm Cement Bonded Particleboard I, Hydration Behaviour of Cement mixed with Powder Oil Palm Fronds, Proceedings of the 2nd International Wood Science Seminar, C207, 1998
5. Bambang Subiyanto dan, Anita Firmanti Eko, Susetyowati: Production Technology of Cement Bonded Particleboard from Tropical Fast Growing Species I, The Effect of Cement Content after Pre-treatment of Particles on Cement Bonded Particleboard Properties, Proceedings of the 4th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 422-427, 1998
6. Anita Firmanti Eko, Susetyowati dan, Bambang Subiyanto: Effect of High Temperature to The Compressive Strength of Cement-Wood Composite of Some Tropical Fast Growing Species, Proceeding of the 4th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 446-451, 1998
7. Kawai, S., Zhang, M., Ma, L., Okuma, M: Manufacture and properties of UF resins/cement bonded particleboards from melaleuca, Proceedings of the International Workshop on Sustainable Utilization of Regional Resources, 29-34, 1999
8. Eusebio, D. A., Kawai, S.: Panel Products from Sugarcane Bagasse; Environment Friendly Technology, Proceedings of the International Workshop on Sustainable Utilization of Regional Resources, 35-39, 1999
9. Sulatiningsih, I. M., Nurwatil, Murdjooko, S., Kawai, S.: Effect of Bamboo-cement Ratio and

Magnesium Chloride Content on the Properties of Bamboo-cement Boards, Proceedings of the 5th Pacific-rim Bio-based Composites Symposium, 36-41, 2000

10. D. Hermawan, T. Hata, S. Kawai, Nagadomi, W., Kuroki, Y.: Rapid production of oil palm cement bonded board by using gaseous or supercritical carbon dioxide, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 101-106, 2000
11. L.-F. Ma, H. Yamauchi, O. R. Pulido, Y. Tamura, H. Sasaki S. Kawai: Manufacture of cement-bonded boards from wood and other lignocellulosic materials -Relationships between cement hydration and mechanical properties of cement bonded boards, Proceedings of the 5th Pacific Rim Bio-based Composites Symposium, 1-8, 2000
12. Kawai, S., Hermawan, D.: Oil Palm Cement Bonded Board by Using Rapid Carbon Dioxide Curing Process, Proceedings of the International Symposium of Efficient Use of Oil Palm Waste as Renewable Resource for Energy & Chemicals (NEDO), 43, 2001
13. D. Hermawan, T. Hata, S. Kawai, W. Nagadomi, Y. Kuroki: Manufacturing oil palm fronds cement-bonded board cured by gaseous or supercritical carbon dioxide, J. Wood Science, 48, 20-24 (2002)
14. Hermawan, D., Hata, T, Kawai, S., Nagadomi, W., Kuroki, Y.: Effect of carbon dioxide-air concentration in the rapid curing process on the properties of cement-bonded particleboard, J. Wood Science, 48, 179-184 (2002)
15. 黒木康雄、永富 辨、金子真一、川井秀一、畑 俊充：特許「特願平10-305256 木質セメント板の製造方法」(公開中)
16. 黒木康雄、永富 辨、金子真一、川井秀一、畑 俊充、デデ・ヘルマワシ:木質セメントの製造方法、特許「特願 2000-162841 木質セメント板の製造方法」(公開中)

早生樹ならびに農産廃棄物を原料にした化学修飾木質材料の耐候性

Weathering Properties of Chemically Modified Wood-Based Materials from Fast-Growing Trees and Agrowastes

研究期間：平成8年度～平成10年度

* 高橋 旨像	京都大学木質科学研究所
角田 邦夫	京都大学木質科学研究所
今村 祐嗣	京都大学木質科学研究所
吉村 剛	京都大学木質科学研究所
* Sulaeman YUSUF	R&D Center for Applied Physics, LIPI (Present: R&D Unit for Biomaterials)
Yusuf Sudo HADI	Bogor Agricultural University
Fauji FEBRIANTO	Bogor Agricultural University
Yanni SUDIYANI	Research Center for Chemistry, LIPI
Mohamad GOPAR	R&D Center for Applied Physics, LIPI (Present: R&D Unit for Biomaterials)

木材および木質材料の劣化は、光、水、腐朽菌、虫、大気中の塵埃など、複合因子により発生し、外構材料として適用するには、耐候性の改善が必要である。本研究は、1) 早生樹を原料に用いた化学修飾木質材料の耐候性の評価、2) 耐候性に影響する因子に関する因子の評価、3) 価格競争力のある外構用化学修飾木材の開発を目指している。

研究成果

細胞壁内に浸透しやすい低分子量フェノール樹種を木材に注入し、熱重合させると、生物劣化抵抗性やその他の性能が向上することが明らかにされている。これをパーティクルボード製造に適用する場合、チップへの低分子量フェノール樹脂含浸と接着剤添加を同時に行っても、所定の性能向上効果が得られることがスギ・パーティクルボードで確認されている。これらの結果を受けて、含浸用としてのレゾールタイプの低分子量フェノール樹脂（数平均分子量 330）と接着剤としての高分子量フェノール樹脂（数平均分子量 1010）の混合物をチップに噴霧し、熱圧成形する方法によりフェノール樹脂処理パーティクルボードを作製した。材料として、熱帯地域での有効利用が期待されている草生樹のアルビジア、天然ゴム原料採取が終了した廃ゴムノキ、ニュージーランドマツ（ラジアタパイン）の3樹種のほか、農業廃棄物であるモミガラを用いた（モミガラはボードの表層とし、内層は日本産のスギとした）。樹種の添加率は、含浸用：5、7.5、10%、接着用：8%とした。これらのボードを、インドネシア応用物理学研究・開発センター構内（セルボン）に屋外暴露

し、曲げ及び剥離強度、生物劣化抵抗性（腐朽菌及びシロアリ）の経時変化を調査している。すべてのボードについての結果はまだ得られていないが、ニュージーランドマツボードの6及び12ヶ月暴露後の結果を平成10年11月、いずれもインドネシアで行われた第4回環太平洋木質材料シンポジウム（ボゴール）及び第2回国際木材科学セミナー（セルボン）で発表した。その概要は以下の通りである。

- 1) 耐朽性：オオウズラタケ（褐色腐朽菌）とカワラタケ（白色腐朽菌）を用いた12週間の腐朽試験では、含浸用樹脂無添加ボードは腐朽重量減少率が暴露前の約13%から24-27%（12ヵ月後）に増大したが、添加率7.5、10%のボードは12ヵ月後も暴露前とほぼ同等の高い耐朽性（重量減少率3%以下）を維持していた。
- 2) 耐蟻性：イエシロアリを用いた3週間の強制摂食試験でも、添加率7.5、10%のボードは12ヵ月後も他のボードより高い耐蟻性を有していたが、食害重量減少率は暴露前の2%から4%に増加した。
- 3) 剥離強度：樹脂添加率に比例して剥離強度は増大する（7.5%で約2倍、10%で約3倍）が、いずれのボードも暴露により低下し、とくに無添加ボードは12ヵ月後には暴露前の1/5まで低下した。しかし添加ボードの低下は約1/2にとどまり、添加率7.5、10%のボードは暴露前の無添加ボードよりなお高い強度を有していた。
- 4) 曲げ強度：剥離強度と同様に、いずれのボードについても樹脂添加率に比例した増大と暴露による低下が認められたが、添加ボードの減少は無添加ボードより少なく、添加率7.5、10%のボードは暴露前の無添加ボードと同等の200kgf/cm²以上の値を維持していた。

以上のように、ニュージーランドマツから作製したボードでは、フェノール樹脂含浸率7.5～10%で耐朽性、耐蟻性、剥離強度、曲げ強度がいずれも増大し、耐朽性以外の性能は屋外暴露により低下するものの、その程度は無添加ボードより少なく、暴露前の無添加ボードより高いレベルを維持していた。

研究業績

1. Y. Sudiyani, Y. Imamura and M. Takahashi: Weathering Effects on Several Properties of Chemically Modified Wood, Wood Research, No.83, 55-58, (1996)
2. Y. Sudiyani, M. Takahashi, Y. Imamura, K. Minato and S. Tsujiyama: Changes of Some Properties of Wood After Exposed to Weathering, Proceedings of the 1st International Wood Science Seminar, 99-106, 1996
3. S. Yusuf, Y. Imamura, M. Takahashi, K. Minato: Biological Resistance of Chemically Modified Wood (Acetylation and Formalization), Proceedings of the 1st International Wood Science Seminar, 107-114, 1996
4. Y. Sudiyani, M. Takahashi, Y. Imamura, K. Minato, S. Tsujiyama, H. Kajita: Characteristics of chemically modified wood exposed to weathering, Proceedings of the 3rd Pacific Rim Bio-Based

Composites Symposium, 423-431, 1996

5. S. Yusuf, M. K. Yalinkilic, Y. Imamura, S. Fushiki, T. Saito, Y. Katsuzawa: Biological Properties of Glue-line Treated Plywoods, Proceedings of the 4th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 124-132, 1998
6. Y. Sudiyani, Y. Imamura, M. Takahashi, H. Kajita: Improvement of Weathering Properties of Particleboards by Addition of Low Molecular Weight Phenolic Resin To Glue Adhesive, Proceedings of the 4th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 358-365, 1998
7. S. Yusuf, Y. Sudiyani, H. Kajita, Y. Imamura, M. Takahashi: Weathering properties of phenolic-resin treated particleboards from fast-growing woods and agrowastes, Proceedings of the 2nd International Wood Science Seminar, C92-100, 1998
8. Y. Sudiyani, Y. Imamura, M. Takahashi: Weathering properties of phenolic-resin treated wood, Proceedings of the 2nd International Wood Science Seminar, C101-111, 1998
9. S. Yusuf, Y. Sudiyani, H. Kajita, Y. Imamura, M. Takahashi: Biological and physical properties of phenolic-resin treated wood before and after natural weathering, The International Research Group on Wood Preservation, Document No.IRG/WP/99-40132, 1999
10. Y. Sudiyani, M. Takahashi, Y. Imamura, K. Minato: Physical and biological properties of chemically modified wood before and after weathering, Wood Research, No.86, 1-6, (1999)
11. Y. Sudiyani, S. Tsujiyama, Y. Imamura, M. Takahashi, K. Minato, H. Kajita: Chemical characteristics of surfaces of hardwood and softwood deteriorated by weathering, J. Wood Science, 45, 348-353 (1999)
12. Y. Sudiyani, S. Yusuf, H. Kajita, Y. Imamura, M. Takahashi, Sudijono: Enhancement of Weathering Properties of Particleboard by Phenolic Resin Treatment, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 188-192, (2000)
13. Y. Sudiyani, Y. Imamura, S. Doi: Weathering performance of wood impregnated with phenolic-resin, Proceedings of The 4th International Wood Science Symposium, 176-181, (2002)
14. Y. Sudiyani, S. Horisawa, K. Chen, S. Doi, Y. Imamura: Changes in surface properties of tropical wood species exposed to the Indonesian climate in relation to mold colonies, J. Wood Science, 48, 542-547, (2002)
15. Y. Sudiyani, Y. Imamura, S. Doi, S. Yamauchi: Infrared spectroscopic investigations of weathering effects on the surface of tropical wood, J. Wood Science, 49, 86-92, (2003)
16. S. Yamauchi, Y. Sudiyani, Y. Imamura, S. Doi: Depth profiling of weathered tropical wood using Fourier transform infrared photoacoustic spectroscopy, J. Wood Science, 50, 433-438, (2004)

水熱処理による早生樹圧密化木材および木質材料の高寸法安定化

Dimensionally Stable Compressed Wood & Composite Wood Products from Fast-Growing Trees by High-Pressure Steam Treatment

研究期間：平成8年度～平成10年度

* 則元 京	京都大学木質科学研究所
川井 秀一	京都大学木質科学研究所
師岡 敏朗	京都大学木質科学研究所
井上 雅文	京都大学木質科学研究所

* Myrtha KARINA	Research Center for Physics, LIPI (LIPI)
Bambang SUBIYANTO	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Wahyu DWIANTO	R&D Center for Applied Physics, LIPI

早生樹は、一般に密度が低く、軟材が多い。これらを、構造材、内装・家具材として利用するには、強度や表面硬度を改善することが必要である。このために木材横方向圧縮加工が効果的であり、圧縮変形の固定には水熱処理が有効である。

本研究では、1) 圧縮変形固定のための新しい技術の開発、2) 変形固定メカニズムの解明、3) 圧縮木材の表面性状や強度の評価、4) 圧縮材を用いた木質新素材の開発を目指している。

研究成果

本研究では、高温・高圧水蒸気処理による早生樹材の圧密加工について、1) 合理的に製造する技術と機械システムの開発 2) 製造条件と材質の関係の解明、3) 変形の永久固定機構の解明を試みた。1) については、ホットプレスに高周波加熱装置を組み込んだ機械システムを開発した。この装置を用いて加工した場合、ホットプレスのみでの加工の場合に比べ、厚みの大きい材料については、著しい加工時間の短縮と処理の均一化が達成された。現在、この装置を用いて、圧密材を積層した床材の開発を行っている、2) については、未圧縮材について、種々の温度、時間で水蒸気処理を行い、処理材の曲げ破壊係数、ヤング係数を測定し、無処理材のそれと比較した。一方、同様の処理条件で圧密加工を行い、それについて水熱処理による変形の回復度を測定した。その結果、変形が完全に永久固定される条件において、処理による強度の低下は、ほとんど生じないことが明らかとなった。また、圧縮度と比重、強度の関係を求め、種々の比重をもつ木材の強度との比較を行った結果、同じ比重で比べると、両者の強度には、ほとんど差異のないことが示された。3) については、耐圧槽内に耐熱性のロードセルを組み込んだ測定装置を用い、多くの樹

種について、0～200℃において、圧密領域に至るまでの応力-ひずみ関係の測定、応力緩和の測定、クリープの測定を行い、また、各測定時間における変形の回復度を決定した。一方、各条件において、X線回折測定を行い、結晶化度を調べた。これらの結果から、処理による変形固定の機構について検討を行った。得られた成果については、学術雑誌に5論文投稿し、掲載可となっており、また、その内容について平成10年4月に開催された第47回日本木材学会大会において発表した。なお、平成10年11月に、師岡が、セルポンのLIPI応用物理学研究開発センターに赴き、研究成果について発表した。

研究業績

1. W. Dwianto, F. Tanaka, M. Inoue, M. Norimoto: Crystallinity changes of wood by heat or steam treatment, *Wood Research*, No.83, 47-49 (1996)
2. W. Dwianto, M. Inoue, M. Norimoto: Permanent fixation of compressive deformation of albizia wood (*Paraserienthes falcata*) by heat treatment, *J. Tropical Forest Prod.*, 4, 59-67 (1998)
3. W. Dwianto, M. Norimoto, T. Morooka, F. Tanaka, M. Inoue and Y. Liu: Radial compression of sugi wood (*Cryptomeria japonica*), *Holz als Roh- und Werkstoff*, 56, 403-411 (1998)
4. W. Dwianto, T. Morooka, M. Norimoto, T. Kitajima: Stress relaxation of sugi (*Cryptomeria japonica*) wood in radial compression under high temperature steam, *Holzforschung*, 53, 541-546 (1999)
5. W. Dwianto, T. Morooka, M. Norimoto: Method for measuring viscoelastic properties of wood under high temperature and high pressure steam conditions, *J. Wood Science*, 45, 373-377 (1999)
6. W. Dwianto, T. Morooka, M. Norimoto: Compressive creep of wood under high temperature steam, *Holzforschung*, 54, 104-108 (2000)

農産廃棄物および早生樹を用いた耐火性木質材料の開発

Fire Resistive Wood Composites from Agrowastes & Fast-growing Trees

研究期間：平成8年度～平成9年度

* 石原 茂久 京都大学木質科学研究所
今村 祐嗣 京都大学木質科学研究所
畑 俊充 京都大学木質科学研究所

* SUBYAKTO R&D Center for Applied Physics, LIPI
Anita FIRMANTI Research Institute for Human Settlements

インドネシアの低質木材の利用促進を行うために、塗装や熱圧等、簡単な処理によって木材に耐火性能を付与することが必要不可欠である。これを実現するには機能傾斜材料化、金属アルコシドの合成あるいは炭素セメントなどの無機物質の複合化が有効である。

本研究では、1) 草生樹を用いた木質材料の簡潔な新規耐火性能付与技術の開発、2) 高強度、高寸法安定性の付与、3) 住宅パネル材料としての適用性について検討した。

研究成果

本プロジェクトは、(1)接着層にホウ素化合物あるいはリン酸化合物を含む合板の難燃性能の向上、(2)難燃性薬剤の塗布と表層圧壊による早成樹木材の難燃性の向上、(3)ホウ素化合物によって処理された合板の溶出性能と耐蟻性向上、(4)フェノール樹脂炭素複合体による熱的異方性の向上という4つの研究課題よりなる。

フェノール樹脂炭素複合体は、木質炭素化物とフェノール樹脂との複合物からなる。硬化温度がパーティクルボードの熱圧条件と一致することからパーティクルボードとの一体成形が可能である。この難燃性木質材料を芯にもつ木製ドアが二時間の耐火試験に合格したことから、木製のドアでも適当な難燃処理を行えば甲種合格として認められ積極的に世の中で用いられる契機となった。この材料を用いて製造された木質ボードは、その熱的異方性という特異な性質により、難燃性能を大幅に向上させることができる。異方性発現機構を調べた結果、木質炭素化物中の結晶構造の成長方向が熱的性質に大きな寄与をしていることがわかった。この発見が木質炭素化物の高機能化付与への突破口となった。

さらに、新しい難燃性試験方法を開発し、それを用いてセメント結合ボードやその他木質ボードの難燃性向上について検討した。アルビジアを原料とする木質セメント板を調整し、わが国市販の木質セメント板と同等の性能を有することを確認した。難燃性薬剤を接着剤に混合することと表面の圧壊による難燃性向上について実用的検討を行った。

これら木質材料の難燃性向上に関する研究は、インドネシアでの安全・安心な生活を実現するために大きな貢献するとともに、研究交流を通じてインドネシア研究者のレベルアッ

プにつながった。

研究業績

1. W. -H. Su, T. Hata, Subyakto, Y. Imamura and S. Ishihara: Combustion behavior of melamine-boric and - phosphoric acids treated wood using thermographic analysis, Proceedings of the 1st International Wood Science Seminar, 57-65, 1996
2. W. -H. Su, Subyakto, T. Hata, Y. Imamura and S. Ishihara: Improvement of fire retardancy of strandboards I a and plywoods by surface treatment of melamine with boric and phosphoric acids, Proceedings of the 3rd Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 193-199, 1996
3. W. -Y. Su, Subyakto, M. K. Yalinkilic, T. Hata, Y. Imamura and S. Ishihara: Enhancement of leach and termite resistance of plywood treated with boric compounds, Mokuzai Gakkai shi, 43, 595-601, (1997)
4. W. -Y. Su, Subyakto, T. Hata, K. Nishimiya, Y. Imamura and S. Ishihara: Improvement of fire retardancy of plywood by incorporation of boron or phosphate compounds in the glue, J. Wood Science, 44, 131-136, (1998)
5. T. Harada, T. Hata, S. Ishihara: Thermal constants of wood during the heating process measured with the laser flash method, J. Wood Science, 44, 425-431(1998)
6. Subyakto, T. Kajimoto, T. Hata, S. Ishihara, S. Kawai and H. Getto: Improving fire endurance of fast growing wood by coating of fire retardant and surface densification, Fire and Materials, 22, 207-212 (1998)
7. A. F. E. Susetyowati, B. Subiyanto, T. Hata, S. Ishihara, S. Kawai, Production and fire resistance performance of cement bonded particleboard and other wood based materials, Proceedings of the 2nd International Wood Science Seminar, B31, 1998
8. T. Hata, Y. Imamura, S. Ishihara and H. Kajita, Production of LVL by incorporating fire retardants in the glue- analysis of the movement of chemical elements by X- ray photoelectron spectroscopy, Proceedings of the 4th Pacific Rim Bio- Based Composites Symposium, 144-152, 1998
9. Subyakto, B. Subiyanto, T. Kajimoto, T. Hata, S. Kawai and S. Ishihara: Enhancement of fire retardancy of wood composites by surface coating or densification, Proceedings of the 4th Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium, 153-160, 1998
10. Subyakto, T. Hata, I. Ide, S. Kawai and Y. Imamura, Possible uses of carbon materials to improve the fire retardancy of wood composites, Proceedings of the 2nd International Wood Science Seminar, B42, 1998
11. Subyakto, W. Su, T. Hata and Y. Imamura: Evaluation of fire resistance of composite wood board using thermographic analysis, Proceedings of the 5th Asian Symposium on Visualization, March 8-11, 1999

12. Wen-Yu Su, Subyakto, T. Hata, Y. Imamura, S. Ishihara: Enhancement of fire retardancy of plywood by incorporation of boron or phosphate compounds in the glue, new tropical timber crops: challenges in processing and utilization, Proceeding of the International Tropical Wood Conference, 321-329, 1999
13. Subyakto, Firmanti, A., Subiyanto, B., Yusuf, S.: Fire properties of some commercial wood composites, Proceedings of the Seminar National II Indonesian Wood Research Society (MAPEKI), 83-92, 1999
14. Subyakto, T. Hata, S. Kawai, Y. Imamura and I. Ide: Anisotropic thermal properties of molded carbon phenolic spheres, J. Wood Science, 46, 16-21, (2000)
15. Subyakto, S. Falah, D. G. Wijaya, Sudijono: Effect of addition of mixture of boric acid-borax on fire properties of particleboard, Proceedings of the HFI XVIII National Seminar, 2000
16. Subyakto, Sudijono, Dungani, R., Kunprihanto, M.: Fire resistance properties of coconut wood treated with boric acid and ammonium phosphate, Proceedings of the Seminar National III Indonesian Wood Research Society (MAPEKI), 2000
17. Dwianto, W., Subyakto: Fire performance of albizzia compressed wood using cone calorimeter, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 31-36, 2000
18. Subyakto, Hata, T., Ide, I., Kawai, S.: Thermal properties of carbon or graphite phenolic spheres and its application, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 31-36, 2000
19. Subyakto, T. Hata, I. Ide., and S. Kawai: Fire-resistant performance of a laminated veneer lumber joint with metal plate connectors protected with graphite phenolic sphere sheeting, J. Wood Science, 47, 199-207 (2001)
20. Subyakto, Dwianto, W.: Effect of graphite phenolic spheres (GPS) coating on fire resistance properties of wood and plywood, Proceedings of the Seminar National IV Indonesian Wood Research Society (MAPEKI), 2001
21. Subyakto, Hata, T., Ide, I., Yamane and T., Kawai, S.: Fire protection of a laminated veneer lumber joint by carbon phenolic spheres sheeting, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 43, 2002
22. Dwianto, W., Subyakto: Fire retardant properties of treated agathis wood, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 40-50, 2002
23. Subyakto, Subiyanto, B., Hata, T., Kawai, S.: Evaluation of fire-retardant properties of edge-jointed lumber from tropical fast-growing woods using cone calorimetry and a standard fire test, J. Wood Science 49, 241-247, 2003
24. Wahyu Dwianto, Subyakto: Relationship between fire resistance properties and mechanical properties of wood, Proceedings of the Seminar National VI of Indonesian Wood Research Society (MAPEKI), 2003
25. Wahyu Dwianto, Sudijono, I. Iida, Subyakto, S. Yusuf: Mechanical Properties, Fire Performance

and Termite Resistance of *Acacia mangium* Wild, Proceedings of the International Symposium on Sustainable Utilization of *Acacia mangium*, 128-139, 2003

26. Subyakto, W. Dwianto: Fire resistance properties of five wood species coated with Carbon Phenolic Spheres (CPS) tested by Cone Calorimeter, *J. Tropical Wood Science and Technology*, 2, 46-50 (2003)
27. Subyakto, Hata, T., Ide, I., Yamane, T. and Kawai, S.: Fire protection of a laminated veneer lumber joint by carbon phenolic sphere sheeting, *J. Wood Science*, 50, 157-161 (2004)

早生熱帯樹種の生長機構

Growth Mechanism of Fast-Growing Species in Tropical Forest

研究期間：平成8年度～平成10年度

* 奥山 剛 名古屋大学大学院生命農学研究科
山本 浩之 名古屋大学大学院生命農学研究科
渡邊 拡 名古屋大学大学院生命農学研究科
吉田 正人 名古屋大学大学院生命農学研究科

* Yusuf Sudo HADI Bogor Agricultural University
Sri Nugroho MARSOEM Gadjah Mada University
Imam WAHYUDI Bogor Agricultural University

育種・育林技術の改善には、成長応力のコントロールが重要な課題となる。そこで、1) 成長応力発生機構の解明のために、実測される成長応力と成長速度との関係を明らかにする。2) 成長応力を樹種、育林方法等、条件毎に整理し、これをコントロールするための技術を確立する。

研究成果

まずボゴール農科大学共同研究スタッフとともに、熱帯早生樹木の成長機構に関するフィールド調査について、実施計画を立案した。

* 早生アカシヤマンギウム：Nangelen 林区にて胸高周囲長 40～90cm，樹高 14～18m，4～10年生，計 24 本について，胸高部位での表面成長応力開放ひずみを測定し，伐倒のあとボゴール農科大学林学部へ搬送した。ボゴール農科大学にて，搬送されたうちの何本かの樹幹内残留応力分解ひずみの部分分布を測定した。さらに，胸高部位から円盤を採取し，髓から樹幹（木部）表面までの材密度分布，マイクロフィブリル傾角を測定した。

* 早生ファルカタ：Gnung Bundar 植林地にて胸高周囲長 26～180cm，樹高 10～19m，3～6年生，計 21 本について，胸高部位での表面成長応力開放ひずみを測定し，伐倒のあとボゴール農科大学林学部へ搬送した。ボゴール農科大学にて，搬送されたうちの何本かの樹幹内残留応力分解ひずみの部分分布を測定した。さらに，胸高部位から円盤を採取し，髓から樹幹（木部）表面までの材密度分布，マイクロフィブリル傾角を測定した。

* チーク：Soemedang 市（西部ジャワ）のインドネシア造林公社事務所にて測定計画の説明後，同市 TomoUtara 林区にて，胸高周囲長 70～100cm，樹高 8～13m，39 年生の 8 個体について，胸高部位での表面応力開放ひずみを測定した。うち Girdling 処理（巻き枯らし処理）を 1 年間施したチーク樹幹（胸高周囲長 72cm，樹高 13m，39 年生）は 3 本，Girdling 処理を半年間施したチーク樹幹（胸高周囲長 73cm，樹高 13m，39 年生）は 2 本であった。

これらについて、表面成長応力開放ひずみの測定を行なった。その後、すべての供試樹幹を伐採し、TomoUtara 地区林業公社貯木場へ搬送した。全ての個体について、樹幹内残留応力の解放ひずみ分布を測定した。また、各種材質（材密度やマイクロフィブリル傾角）、組織観察試料を作製するために、採取円盤または丸太を、ボゴール農科大学林学部へ搬送した。

* 総括：(1) 早生樹木は、その大きな肥大成長速度ゆえ、樹幹成長応力（および残留応力）が高くなるものとの一般通念があるが、今回の実測調査により否定された。すなわち、早く生育するような造林計画を実施しても、表面成長応力が大きくなるような心配はない。(2) 成長応力だけでなく、他の材質指標（材密度、マイクロフィブリル傾角）も肥大成長速度には影響されない。すなわち、材質低下は生じない。(3) チークについては、これは早生樹木ではないが、有用な人工林樹種である。とくに、1年間程度の Girdling 処理は、樹幹内残留応力および含水率の低減に効果があることがわかった。その経済的（工業的）意味は高いものと判断される。また、早生アカシア、早生ファルカタ同様、表面成長応力、材密度とも肥大成長速度には無関係であった。

研究業績

1. Wahyudi, I., Okuyama, T., Hadi, Y., S., Yamamoto, H., Yoshida, M. and Watanabe, H.: Growth stress and strain of *Acacia mangium*, *Forest Product J.*, 49, 77-81 (1999)
2. Wahyudi, I., Watanabe, H., Yoshida, M., Yamamoto, H., Hadi, Y. S. and Okuyama, T.: Tegangan Pertumbuhan dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Kayu Jati (*Tectona grandis*): *duta RIMBA (Monthly Journal of Perum Perhutani, Indonesia)*, 34, 33-35 (1999)
3. Wahyudi, I., Okuyama, T., Hadi, Y. S., Yamamoto, H., Yoshida, M., Watanabe, H.: Relationships between growth rate and growth stresses in *Paratherianthes falcataria* grown in Indonesia, *J. Tropical Forest Products*, 6, 95-105 (2000)

生物的手法を用いる熱帯産木質資源からのパルプ・紙の生産

Production of pulp and paper by using biological methods from tropical wood resources

研究期間：平成9年度～平成11年度

* 栗原 正章	京都大学木質科学研究所
島田 幹夫	京都大学木質科学研究所
渡邊 隆司	京都大学木質科学研究所
本田 与一	京都大学木質科学研究所
近藤 隆一郎	九州大学大学院農学研究院
* Bambang PRASETYA	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Triadi BASUKI	Research Center for Applied Chemistry, LIPI
Tami IDIYANTI	Research Center for Applied Chemistry, LIPI
Didiek Hadjar GOENADI	Biotechnology Research Institute for Estate Crops
Ridwan A. PASARIBU	Forest Products and Socio Economics R&D Center
Yufnal AWAY	Biotechnology Research Unit for Estate Crops
Munir ERMAN	North Sumatra University
Tapa DARMA	Bogor Agricultural University

全世界で生産されている莫大な量のパルプ・紙の原料はいうまでもなく林産資源に依存している。しかし、パルプ・紙産業は資源とエネルギー消費型であり、環境に多大な負荷を与えている。したがって、林産資源の枯渇をふせぐには効率的な製造を行う必要があり、かつ、製造工程での薬剤の消費量を最小限にするとともに、工程中で発生する廃液や廃棄物をうまく処理することが重要である。

本研究は、微生物やその生産する酵素の持つ能力をパルプ・紙の製造の諸工程に組み込み、低エネルギーおよび低薬剤使用型で、公害無発生型工程、すなわち環境に対して負荷の少ない工程を構築することを目的とする。東南アジア諸国においては特に資源の枯渇と環境汚染が深刻な問題となっており、本研究の推進は林産資源と自然環境の保護に対して大きな貢献となることが期待される。

研究成果

インドネシア森林腐朽木から優れたリグニン分解能を持つ6種類の白色腐朽菌(A2, R4, B18, K14, CPN01, PSM01)を分離した。オイルパームの空果房(EFB)からのメカニカルパルプ製造において、EFBをK14株で腐朽処理することにより解繊のエネルギーが最大77%低減された。また、新規に分離した白色腐朽菌CPN01とPSM01は、従来から知られている強力なリグニン分解菌 *Phanerochaete chrysosporium* より優れた未漂白クラフトパルプ

(UKP)の脱色効果を示した。CPN01の生産するマンガンペルオキシダーゼ(MnP)を部分精製し、部分精製酵素を用いてUKPを処理したところ、13ポイントのカップ価の減少と15%の白色度の上昇が認められた。また、PSM01の生産するラッカーゼとメディエーター物質HBTを組み合わせてUKPを脱色したところ、UKPのカップ価が31%減少した。さらに、このラッカーゼ処理を、アルカリ抽出、過酸化水素処理と組み合わせることにより、UKPのカップ価を90%減少させた。以上のように、本課題では、インドネシアから新規に分離した白色腐朽菌およびその酵素による環境と調和した紙・パルプ製造法を示した。本結果は、インドネシアの微生物資源を環境に調和した紙・パルプ製造に利用できることを示したものであり、同国の製紙産業や、環境保全技術の進展に大きく貢献する。

研究業績

1. B. Prasetya, T. Idiyanti, D. H. Goenadi, R. M. Siagian, T. Watanabe, and M. Kuwahara: Production of manganese peroxidase from fungal isolate CPN01 and their in vitro bleaching ability on kraft pulp, Proceedings of the 2nd International Wood Science Seminar, E63-77, 1998
2. M. Karina, B. Prasetya, T. Idiyanti, T. Watanabe, and M. Kuwahara: Characterization of residual lignin and lignin-carbohydrate complexes from unbleached kraft pulp after fungal treatment, Proceedings of the 2nd International Wood Science Seminar, D23, 1998
3. B. Prasetya, Y. Srirejeki, T. Watanabe and M. Kuwahara: Acceleration of microbial lignin degradation of Accasia mangium wild by thermal pre-hydrolysis treatment, Proceedings of International Symposium on Emerging Technologies of Pulping and Paper Making of Fast Growing Wood, 25-35, 1998
4. D. H. Goenadi, Y. Away, Suharyanto, T. Panji, T. Watanabe and M. Kuwahara: Biopulping of empty fruit bunches of oil palm by white-rot fungi isolated from tropical plantation, Proceedings of 7th International Conference on Biotechnology in Pulp and Paper Industry, B, 49-52, 1998
5. M. Kuwahara, M. Shimada, T. Watanabe, Y. Honda, R. Kondo, B. Prasetya, T. Basuki, T. Idiyanti, D. H. Goenadi, R. A. Pasaribu, Y. Away, M. Erman, T. Darma, Production of pulp and paper by using biological methods from tropical wood resources, Science for Sustainable Utilization of Forest Resources in the Tropics, 29-33, Wood Res. Inst., Kyoto Univ. (2001) (ISBN 4-9900692-4-4).
6. Syafwina, Y. Honda, T. Watanabe and M. Kuwahara: Pre-treatment of oil palm empty fruit bunch by white-rot fungi for enzymatic saccharification, Wood Research, No.89, 19-20, (2002)
7. T. Idiyanti, Syafwina, B. Prasetya, T. Watanabe and M. Kuwahara: Utilization of oil palm empty fruit bunch to produce lignin degrading enzyme by white rot fungi, Proceedings of the 4th International of Wood Science Symposium, 359-362, 2002
8. L. Suryanegara, Y. Kusnadi, T. Idiyanti, B. Prasetya, T. Watanabe and M. Kuwahara: Production of laccase and manganese peroxidase by white-rot fungi using extracts from oil palm empty fruit

bunch fibers as inducer, Proceeding of the 4th International of Wood Science Symposium, 357, 2002

9. B. Prasetya, T. Idiyanti, L. Suryanegara, T. Watanabe and M. Kuwahara: Biobleaching of Acacia mangium kraft pulp using laccase secreted by local isolate PSM 01, Proceedings of the 4th International of Wood Science Symposium, 350, 2002
10. Syafwina, E. D. Wong, Y. Honda, T. Watanabe and M. Kuwahara: Pre-treatment of empty fruit bunch of oil palm by white-rot fungi for the utilization of its components, Proceedings of the 4th International of Wood Science Symposium, 351-356, 2002

熱帯産広葉樹の生理活性抽出成分の探索と同定

Survey and identification of biologically active extractives from tropical hardwoods

研究期間：平成9年度～平成11年度

* 梅澤 俊明	京都大学木質科学研究所
島田 幹夫	京都大学木質科学研究所
坂井 克己	九州大学大学院農学研究院
大橋 英雄	岐阜大学農学部
河合 真吾	岐阜大学農学部
* Wasrin SYAFII	Bogor Agricultural University
LISWIDOWATI	R&D Center for Biology, LIPI
Myrtha KARINA	Research Center for Applied Physics, LIPI

地球環境の保全、特に熱帯樹木の保全が、全地球的な危急の問題となっている昨今、熱帯樹木資源を、出来る限り無駄なく効率的に有効利用する方法の確立は極めて重要な課題である。

熱帯産樹木は、多種多様の抽出成分を含み、有用な生理活性を持つものも多い。しかしこれらの抽出成分の組成や、成分分析には、手つかずの問題が山積している。

本研究では、民間伝承により生理活性成分を含むと考えられる、数種の熱帯産樹木を対象に、その成分検索、活性成分の同定、及びフィールドテストを含めた活性試験などを行う。特に、抗蟻性、抗木材腐朽菌活性、抗腫瘍活性などを持つ、リグナンを始めとする成分を集中的に検索する。また、母植物を伐採せずに、有効活性成分を培養細胞系で生産する基礎として、活性成分の生合成機構についても検索する。

本研究の結果、従来知られていなかった新たな生理活性成分が見出され、熱帯産樹木の有効利用に、新たな道が開かれると期待される。

研究成果

本共同研究は、平成9年度に開始された。まず、文献調査を行った結果、1) 近年インドネシアで、*Acacia mangium* と並んで最も盛んに植林されている *Albiza falcata* (*Paraserianthes falcataria*) の抽出成分は、全く研究例がないことが判明した。一方、2) 日本産 *Albizia* 属植物のネムノキが、ストレス軽減活性を持つリグナンの一種を含有することに関する報告が見出された。従って、*Albizia falcata* が有用生理活性を持つリグナンを含有することが、かなり確からしく、また、もし、これらの有用抽出成分が利用できれば、貴重な熱帯資源の有効利用に貢献できる。これらの理由から、本共同研究では、*Albizia*

falcata の抽出成分、特に生理活性リグナンの検索同定を行うこととした。

その結果、シリングレジノールを *Albizia falcata* 心材から単離すると共に、その他のリグナン（メジオレジノール）の存在を強く示唆するデータを得た。また、辺材・樹皮にシリングレジノール配糖体が存在することを示すデータを得た。

本研究の結果、大量に消費されていながら、成分についてはよく知られていない有用樹木である *Albizia falcata* について化学成分に関する情報が得られ、その抽出成分の有効利用の可能性が示された。すなわち、ネムノキ同様、*Albizia falcata* を強壮・ストレス軽減のためにもちいることが出来ると期待される。これらの結果については、平成10年の木材学会大会、平成10年にセルボンで開催された第2回国際木質科学セミナーで発表した。

研究業績

1. T. Umezawa, T. Okunishi, K. Mikame, S. Suzuki, Liswidowati, WasrinSyafii and M. Shimada: Mechanisms of lignan biosynthesis, part II (in Japanese), Annual Report of Interdisciplinary Research Institute of Environmental Sciences, **17**, 29-36 (1998)
2. Liswidowati, M. Karina, Wasrin Syafii, S. Suzuki, T. Umezawa and M. Shimada: Isolation of syringaresinol from *Paraserianthes falcataria* (L.)Nielsen, Wood Research, No.88, 40-41 (2001)

熱帯樹木における木部形成の特質解明と材質特性の評価

Formation of Wood and its Quality Control of Fast-Growing Trees in Tropical Forests

研究期間：平成10年度～平成12年度

* 伊東 隆夫	京都大学木質科学研究所
藤田 稔	京都大学大学院農学研究科
野淵 正	京都大学大学院農学研究科
古川 郁夫	鳥取大学農学部
吉澤 伸夫	宇都宮大学農学部
船田 良	北海道大学大学院農学研究科

* Sri Nugroho MARSOEM	Gadjah Mada University
Wasrin SYAFII	Bogor Agricultural University
Yusuf Sudo HADI	Bogor Agricultural University
Togor TOBING	Bogor Agricultural University

熱帯森林資源の急激な減少を背景に、近年、早生樹種の人工造林が積極的に行われているが、これらの樹種の材質特性に関する知見は少ない。1960年頃から導入されたアカシアマンギウムもその一つである。ガジャマダ大学の協力を得て、9本のアカシアマンギウム造林木（2年生2本、4年生4本、10年生1本、13年生2本）の胸高部位から採取した円板を用いて、1）年輪構造、2）繊維長の水平変動パターン、3）材質の成熟時期、4）肥大成長の良否と成熟の関連性、について検討した。その結果、1）10年生未満の若齢木には明瞭な成長輪（年輪構造）は認められない、2）木繊維長と道管要素長の水平変動パターンはI型を示した、3）材質的成熟は木繊維長、道管要素長の水平変動パターンから、木繊維長の伸長率が1%以下となることを成熟・未成熟の境界としたとき、全ての供試木で髓から20mm以内に境界は存在し、4年生以上のものは全て成熟していたことから、成熟は4年以内と非常に早かった、4）肥大成長の良否は材質の成熟時期に関与しなかった、ことなどが分かった。つづいて、ガジャマダ大学の協力を得て、人工造林されたインドネシア産マホガニーについてもアカシアマンギウムと同様の方法で材質変動特性を調べた。供試木は植栽年から推定して約35年生であったが、年輪構造は樹幹の形成層から内側に22本しか確認されず、それより内側では不明瞭であった。また、木繊維長と道管要素長の水平変動パターンは典型的なII型を示し、明瞭な成熟・未成熟の境界は存在せず、日本産のトチノキと酷似していた。材質的にもトチノキと似ていると推定した。

平成10年度における野淵担当の調査・実験は平成11年度2月18日からの現地調査と、ここで得られる予定の試料を用いての解析となる。従って以下の点はあくまでも予定であることを断わっておく。

造林木チークの木部形成の特徴と材質との関係を調べるために、1. ボゴールのチーク造林地において植栽密度と胸高直径との関係、2. 平均的造林木数本を伐採し、樹幹下部・中部・上部より円盤を採取し、成長輪・年輪をよりどころとして、木部形成の履歴、3. 道管、木繊維などについて解剖学的性質、さらに4. 心材形成の観点から、辺材部の特徴（辺材幅、辺材の内容物の特徴）また心材の色調など、を調べる。以上の結果をもとにし、造林木であるチークの材質に関わるいくつかの基礎的情報を整理する。また平行して、木部形成と心材形成についてその季節的特長の調査をスタートさせる。

研究成果

熱帯樹木の木部形成と材質評価に関する研究を進めているが、熱帯樹木の木部形成に関しては早生樹種を用いて直径成長を定期的に測定する一方で虫ピンによる印付けを一定期間ごとにおこなってきた。その作業は言うまでもなく、現地の共同研究者に依頼しておこなったのであるが1年経過後の肥大成長グラフをみるとほとんど肥大成長をしていないことが判明した。予備のために、同様の実験を *Melia azedarach*（現地の呼び名はMindi）を用いておこなってきた。その結果、この樹種はかなりの肥大成長を示したので、本樹種を用いて現在顕微鏡切片を作製し、解析の準備を進めている。一方、熱帯樹木の材質評価に関しては前述の通り、年輪様構造や繊維長などから熱帯樹木の成熟時期は温帯樹木よりも早いことが示唆されている。本研究の成果は JSPS と LIPI との共同の Wood Science シンポジウムでインドネシアの研究者が発表した。これらの研究と平行して実施された。

マレーシアでの樹木の木部形成の周期性についてパラゴムノキを用いて実験した結果年周期が見出された（研究業績1と4参照）。また、チークプランテーションにおける材質特性につき、立地条件の選択に対する見通しを得た。立地条件、とくに水分環境と木材の心材色との関係を明らかにし、プランテーションにおいて、良質材生産を目指した立地条件の選択に対する見通しを得た（研究業績9参照）。

さらに、迅速な材質評価の方法を開発した。近年、地球温暖化抑制技術の一つとして、熱帯、亜熱帯での CDM 造林が注目されている。高品質、高収率のパルプ材を得るために、ユーカリ、アカシアなどの熱帯早生樹の選抜・育種、森林の維持・管理が必要となってくる。そのため、林木の材質を迅速で正確に測定できる技術を開発するため、FT-ラマンスペクトル法と林木から得られた多変数データ解析を組み合わせ、林木の材質推定を試みた。その結果、FT-ラマン法で得られたデータと木材の解剖学的性質（繊維長、密度など）と木材の化学的成分（セルロース、ホロセルロース、リグニンなど）との間に高い相関（ $r < 0.8$ ）のあることが判明した（研究業績2, 3, 5~8参照）

研究業績

1. Jalil, N. R. A., T. Itoh, H. Sahri and Z. Jusoh, Z.: Periodicity of xylem growth of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) grown in Malaysia, *Holzforchung*, **52**, 567-572 (1998)

2. Ona T., T. Sonoda, K. Ito, M. Shibata, Y. Ootake, J. Ohshima, S. Yokota and N. Yoshizawa: Rapid determination of cell morphology in Eucalyptus wood by Fourier transform Raman spectroscopy, *Applied Spectroscopy*, **53**, 1078-1082 (1999)
3. Ona T., T. Sonoda, K. Ito, M. Shibata, Y. Ootake, J. Ohshima, S. Yokota and N. Yoshizawa: Quantitative FT-Raman spectroscopy to measure wood cell dimension, *Analyst*, **124**, 1477-1480 (1999)
4. Y. Ohashi, M. H. Sahri, N. Yoshizawa and T. Itoh: Annual rhythm of xylem growth was found in rubberwood (*Hevea brasiliensis*) trees grown in Peninsula, *Holzforschung*, **55**, 151-154 (2001)
5. T. Ona, T. Sonoda, K. Ito, M. Shibata, Y. Yamai, Y. Kojima, J. Ohshima, S. Yokota and N. Yoshizawa: Investigation of relationships between cell and paper properties in Eucalyptus by examination of within-tree property variations, *Wood Sci. & Technol.*, **35**, 229-243 (2001)
6. Ona T., T. Sonoda, J. Ohshima, S. Yokota, N. Yoshizawa: A rapid quantitative method to assess Eucalyptus wood properties for kraft pulp production by FT-Raman spectroscopy, *J. Pulp & Paper Sci.* **29**, 6-10 (2003)
7. Ohshima, J., S. Yokota, N. Yoshizawa, T. Ona: Within-tree variation of detailed fibre morphology and the position representing the whole-tree value in *Eucalyptus camaldulensis* and *E. globules*, *Appita J.*, **56**, 476-482 (2003)
8. Ona, T., J. Ohshima, K. Adachi, S. Yokota, N. Yoshizawa: Length determination of vessel elements in tree trunks used for water and nutrient transport by Fourier transform Raman spectroscopy, *Anal. Bioanal. Chem.*, **380**, 958-963 (2004)

早生樹種および低利用樹種の最適機械加工および乾燥技術の開発

Development of optimum machining and drying methods for fast grown species and lesser use species.

研究期間：平成11年度～平成13年度

* 林 和男	愛媛大学農学部
田中 千秋	島根大学総合理工学部
大谷 忠	島根大学総合理工学部
* Edi Suhaemi BAKAR	Bogor Agricultural University
Yusuf Sudo HADI	Bogor Agricultural University
Surdiding RUHENDI	Bogor Agricultural University
Wayan DARMAWAN	Bogor Agricultural University
Efrida BASRI	R&D Center for Forest Products Technology

今後の世界の木材資源や人類の生存環境を考えれば、早生樹種や低利用樹種を有効かつ長期に使用するための最適加工技術を開発することが必要である。しかし、これからの樹種の機械加工性や乾燥性などの基本的な加工特性の研究は十分ではない。本研究では低利用樹種の機械加工性や乾燥性に対する問題点を明らかにし最適な加工法を開発することによって、低利用材を有効利用することを目指している。

1. 早生樹種および低利用樹種の機械加工性の解析と最適技術の開発

ファルカータ、マンギウム、メライナ等の早生樹およびインドネシアにおける熱帯産広葉樹の低利用樹種の基本的な機械加工特性を把握し、その問題点を木材の組織構造上の特性や密度、硬さ、含水率等の物理的な特性との関連で解析する。最終的には、樹種特性に応じた安全性、生産性、ならびに省エネルギー性に優れた最適機械加工技術の確立を目指す。

2. 早生樹種および低利用樹種の乾燥性の解析と最適技術の開発

上述した早生樹およびインドネシア産熱帯広葉樹の低利用樹種の基本的な乾燥特性を把握し、その問題点を組織構造上の特性や浸透・流動・拡散等の木材中の物質移動特性との関連で解析する。従来の蒸気乾燥法に加え、現状の状況を考慮しながら、省エネルギー乾燥法を併用して、早生樹種および低利用樹種の最適乾燥技術の確立を目指す。

研究成果

切削特性：密度 0.33 から 0.98 にわたるインドネシア産樹種 22 種類について各種条件で鋸断、プレーナー削り、ルーター切削を行ない、表面粗さを調べた。プレーナー削りでの

表面特性は必ずしも密度と密接な関係があるわけではなく、木理と密接な関係があった。中には広い範囲でよい切削ができるものもあったが、送り速度を小さくしないと良好な仕上げが得られないものも6種あった。鋸断では概ね高密度の樹種ほど良い切削面が得られた。ルーター切削では密度の低いものほど表面粗さは大きく特に繊維に直行する場合に大きくあらわれた。しかし主軸回転数を大きくし、送り速度を小さくすると表面特性は大幅に改善された。またルーター切削による工具磨耗についても調べた。また切削音の解析も行い、切削音を指標に、送り速度を自動制御する適応制御を試み良好な切削面が得られることを見出した。

乾燥特性については、早生樹種である *Mindi (Melia Azedarach)*、*Tata (Gmelina arborea)* および *Manguim (Acacia mangium)* の3種について温度別の収縮経過を調べるところ、*Manguim* は温度の影響を大きく受けることが分かった。この結果は最適乾燥スケジュールを決定するための急速乾燥の結果も同様の結果がえられた。すなわち、*Manguim* は大きな内部割れが発生し、さらに材色が大きく変化するため、乾燥末期まで低温で乾燥する必要があることが分かった。*Tata* の乾燥自体はそれほど難しくないと判断されたが、材色変化が大きく高温を適用することができないため長い乾燥時間が予想された。*Mindi* の乾燥はそれほど難しくないと判断された。目的と若干外れるが、*Mindi* は環孔材で色も木目も美しく期待される樹種であると思われた。

熱気乾燥が難しいと判断された *Manguim* に対しては予備乾燥法として *shed drying* を試みた。この乾燥法は木材を棧積みし、小屋の中に入れ、熱は加えず、換気だけを適用して乾燥するものである。温帯地域での実験室段階の研究で良い結果が得られたので、この乾燥法を現地(ボルネオ)の工場ですべて予備乾燥として適用した。結果は非常に良好だった。すなわち、表面割れ内部割れが無く材色変化もなかった。この乾燥法は、温度の高い熱帯地域では特に有効であると思われる。電気さえあれば容易に適用できるので、モーターを駆動させるだけの太陽光発電装置さえあれば、どこでも設置可能である。太陽光発電は緯度の低い地域ほど効率がいいので有望な乾燥法と思われる。それが使用不可能な場合でも自然換気が可能な部屋の設計をすれば有望と思われた。しかし換気をしっかりしないと黴の心配がある。

研究業績

1. Efrida Basri, Kazuo Hayashi, Nurwati Hadjib and Han Roliadi: The Qualities and kiln drying schedules of several wood species from Indonesia, Proceedings of the 3rd international wood science symposium, 43-48, 2000
2. E.S. Bakar, W. Darmawan, T. Ohtani, C. Tanaka and K. Hayashi: Machinability of some Indonesian Woods, Proceedings of the 3rd international wood science symposium, 50-55, 2000
3. Masatoshi Sugimori: Forest certification system as prerequisite for the sustainable use of forest products in Indonesia, Proceedings of the 3rd international wood science symposium, 50-55, 2000

4. Efrida Basri, Kazuo Hayashi, Masasuke Shibuya and Hidetomo Nishiyama: Optimum drying schedule for some fast grown species from Indonesia, Proceedings of 7th international IUFRO wood drying conference, 84-89, 2001
5. W. Darmawan, E. D. Bakar, C. Tanaka, T. Ohtani, K. Hayashi: Wear Characteristics of High Speed (HSS) and Carbide Bits in Routing Some Indonesian Woods, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 26-27, 2002
6. Efrida Basri, Kazuo Hayashi and Rahmat: The contribution of shed and kiln drying resulted in good quality of Mangium Lumbers, Proceedings of the 4th international wood science symposium, 101-105, 2002

竹材の軟化挙動とそれを応用した加工

Softening Behavior and Its Application of Bamboo

研究期間：平成11年度～平成13年度

* 則元 京	京都大学木質科学研究所
師岡 敏朗	京都大学木質科学研究所
井上 雅文	京都大学木質科学研究所
吉田 彌明	静岡大学農学部
関野 登	岩手大学農学部

* Wahyu DWIANTO	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Bambang SUBIYANTO	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Eka Mulya ALAMSYAH	Winaya Mukti University

木質資源の枯渇から、成長サイクルの短い竹材が注目され、木質ボードなどに応用されつつある。しかし、木材の水分・熱軟化挙動については、既往の研究によってかなり把握されているが、竹材については未知の部分が多い。竹材に関する既往の研究は、解剖学的な研究、工芸的な利用に関する研究がほとんどであり、高度加工の機構を解明しようとした例はない。本研究は、竹材の軟化挙動、大変形特性、変形の一時固定などを総合的に検討し、さらに寸法安定化技術を開発するなど、竹材の高度加工の基礎を構築することを目的とする。また、得られた成果を応用して、竹材をエレメントとする木質ボードを製造し、その評価を行う。

本研究の成果は、竹材の高次加工に必要な基礎データを提供するとともに、竹材を用いた木質系新素材の開発においても、それらの基礎研究に寄与するところが大きく、今後の竹材資源の有効利用に資するところが大きいと考えられる。

研究成果

供試材として、インドネシア産の竹材2種、gombong (*Gigantochloa pseduarundinaceae*) (比重0.81)、tali (*Gigantochloa apus*) (比重0.83)、日本産モウソウ竹 (*Phyllostachys heterocycla*) (比重0.71)を、また、木材との比較のために、スギ材 (*Cryptomeria japonica*) (比重0.30)を用い、全乾材について、放射方向圧縮により、室温から200°Cの範囲で応力-ひずみ関係や応力緩和挙動を測定した。140°C～200°Cの温度範囲について熱処理後の重量損失-時間図を見ると、損失量は140°C付近では、24時間の処理でも2%程度であったが、200°C付近での処理では、樹種により大きく異なった。この場合、2時間の処理で、ゴンボンやタリでは損失量が7%程度であるに対して、モウソウ竹では12%程度と大きく、スギ材では5%程度に留まった。試験片を20%圧縮し、同じ処理を

行った場合の回復度一時間関係を検討した結果、今回用いた試料のなかでは、タリが最も短時間で変形固定されることがわかった。熱処理に関連して、竹材の動的熱重量分析を行った結果、試験した上記3種の竹材いずれの場合でも、150℃付近から重量減少が観測された。しかし、これらの試料を煮沸すると、重量減少の開始温度が220℃付近に増加した。そこで、それら3種の竹材について、煮沸処理の有無による応力-ひずみ図の違いを検討した。100℃以下の温度での測定結果には、処理の有無による差異はみられなかったが、さらに高温では、応力-ひずみ図のかたちが両者で著しく異なった。さらに、同じひずみで比較したときの応力値は処理後に大きく増加し、たとえば、タリについて、200℃、ひずみ0.3での応力値は無処理で110kg/cm²程度であるに対して、煮沸後には、160kg/cm²に増加した。これに関連して、応力-ひずみ図から得られる降伏値の温度変化は、煮沸処理の有無によって大きく異なった。

竹材をエレメントとする高品質木質ボードを開発、製造するためには、圧縮する際のエレメントの水分、熱による軟化挙動を正確に把握し、それを有効に利用することが必要不可欠と考え、インドネシア産のゴンボン竹およびタリ竹と、日本産のモウソウ竹、木材としてスギ材を選び、放射方向の横圧縮試験によって、熱による軟化挙動を調べた。その際、気乾試料についての熱軟化挙動が、全乾試料に関する場合と大きくことなることを見いだした。さらに、インドネシア産および日本産の竹材について、水分存在下で100℃以上における横圧縮の応力緩和測定を行い、応力減少と変形の固定の関係を調べる。一方、軟化処理に伴う竹材の化学成分変化、物性の変化についても応力緩和測定と平行して行い、変形の永久固定の機構についても考察を行なう。これらの実験を通じて寸法定性の極めて高い高品質ボード製造条件を決定し、その製造を試みた。

研究業績

1. B. Subiyanto, T. Morooka and M. Norimoto: Softening behavior of dry bamboo by heat treatment, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 15-21, 2000
2. K. Matsumoto, H. Yamauchi, M. Yamada, K. Taki and H. Yoshida: Moso bamboo as a board material -The board from bamboo fiber and fine, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 71-76, 2000
3. E. M. Alamsyah and B. Subiyanto: Effect of heat treatment of particle on physical and mechanical properties of particleboard made from Indonesian bamboo, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 109-113, 2000
4. B. Subiyanto and E. M. Alamsyah: The effect of heating temperature on physical and mechanical properties of compressed Indonesian bamboo (I), Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 69, 2002
5. M. Inoue and T. Mori: Wood/Bamboo nail for timber construction (I), Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 71, 2002

6. M. Inoue and M. Norimoto: Possibilities of Bamboo Based High Strength Materials, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 402, 2004

熱帯産木質資源の高耐久利用技術の開発

Development of Integrated Technology on High-Performance Utilization of Tropical Forest Resources

研究期間：平成11年度～平成13年度

* 今村 祐嗣	京都大学木質科学研究所
畑 俊充	京都大学木質科学研究所
梅澤 俊明	京都大学木質科学研究所
吉村 剛	京都大学木質科学研究所
角田 邦夫	京都大学木質科学研究所
藤井 義久	京都大学大学院農学研究科
飯田 生穂	京都府立大学大学院農学研究科
* Wiwik S. SUBOWO	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Sulaeman YUSUF	R&D Center for Applied Physics, LIPI
SUBYAKTO	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Retno YUSIASIH	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Anita FIRMANTI	Research Institute of Human Settlements Technology
Yanni SUDIYANI	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Musrizal MUJIN	Hasanuddin University
Mohamad GOPAR	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Yuliati INDRAYANI	Tanjungpura University

木材・木質材料の耐久性を向上させ、長く使っていくことは、環境保全や地球温暖化防止の面から緊急に求められている課題である。この研究プロジェクトでは、耐久性にかかわる多様な要求を満たす手法を、日本とインドネシアが共同して総合的に取り組み、環境に調和した新しい技術を開発する。

すなわち、熱帯木質資源の耐候性、耐朽性、耐シロアリ抵抗性、難燃耐火性を気候環境のきびしい日本およびインドネシアにおいて総合的に検討し、それらの性能を向上させる新規技術を環境調和性の視点から開発する。シロアリの分布と種の同定、非破壊的な劣化診断法の開発、木質複合材料の高耐久化にも取り組み、さらに熱帯産木材に含まれる未知の耐久性成分の化学的解析をも行う。

環境条件のきびしい日本とインドネシアにおいて耐久性に関する研究を共同で行うことは学術的に意義が深いだけでなく、今後の熱帯産木質資源の有効利用に資するところが大きいと考えられる。

研究成果

プロジェクトの初年度にあたる平成11年度では、熱帯地域において木質資源に大きな被

害を与える要因であるシロアリ類の生態学調査、特にインドネシアにおける加害種の特定を行った。形態学的、化学的及び遺伝子的な解析を行ったところ、*Cortotermes* 種の多くが、これまでいわれてきた *Coptotermes curvignatus* ではなく新種である可能性が非常に高くなった。また AE (アコースティックエミッション) によるシロアリ被害の初期探知法について、モデル実験を行い、インドネシアにおける応用の可能性についても検討した。その結果、日本側研究者が開発し実用化された AE 探知器がインドネシアに対しても使用可能であるが、それぞれの地域に応じた新しいシステムの構築を目指すべきであることが明らかとなり、今後の研究の方向づけを行うことができた。

平成 12 年度においては、圧縮処理による薬剤注入の向上技術を、薬剤注入がきわめて悪い熱帯産材とくにアルビジアなどの早生造林樹種に適用する実験を行った。その結果、微細なクラックが木材中に形成され、それによって内部まで達する均等な薬剤注入性を確保することができた。さらに、熱帯産材にフェノール樹種処理を施し、インドネシアにおいて暴露したものについて、物理的性質、解剖学的性質、生物劣化抵抗性の面から検討を行った。

平成 13 年度については、インドネシア等熱帯地域における木材の耐候性評価法について調査検討を行い、気象因子との係わりで適切な評価手法を提案した。また、熱帯木材の屋外暴露抵抗性の差異を明らかにするため、木材の構成成分、とくに抽出成分の組成と量の影響を検討した。気象など環境条件のきびしい日本とインドネシアにおいて耐久性に関する研究を共同で行うことは学術的に意義が深いだけでなく、今後の熱帯産木質資源の有効利用に資するところが大きいと考えられる。

また、AE (アコースティック・エミッション) によるシロアリ被害の初期探知法を、インドネシアのシロアリに対しても適用し、それぞれの種に応じた新しい検出システムを構築した。

さらに、インドネシア産シロアリについての野外調査と正確な種の同定を行い、生物学的な地理区分として著名なウォーレス線とシロアリ分布の関係について新しい知見を明らかにした。これは社会性昆虫として代表的なシロアリについての昆虫学的な成果であるとともに、植林木や建築物の被害防除の新しい手法の開発に寄与するものと期待される。

研究業績

1. S. Yusuf, Y. Yanase, Y. Sawada, Y. Fujii, T. Yoshimura and Y. Imamura: Evaluation of Termites Feeding Activities by Acoustic Emission (AE) under Various Relative Humidity (RH) Conditions, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 173-178, 2000
2. S. Yusuf, I. Iida and Y. Imamura: Improvement of Liquid Penetration into Tropical Hardwood by Precompression Treatment, Proceedings of the 5th Pacific-Rim Bio-Based Composites Symposium, 718-726, 2000
3. R. Yusiasih, T. Yoshimura, T. Umezawa and Y. Imamura: Evaluation of Chemical Characteristics

- of Tropical Wood Extractives Responsible for Durability, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 317, 2000
4. S. Yusuf、飯田生穂、今村祐嗣、Sudijono : 圧縮前処理法を利用した熱帯産広葉樹材の液体注入性の向上、第 45 回日本学術会議材料研究連合講演論文集、2001
 5. R. Yusiasih, T. Yoshimura, T. Umezawa and Y. Imamura: Biocidal screening method of wood extractives by a direct use of cellulose TLC plate, The International Research Group on Wood Preservation, Document No.IRG/WP/01-20226, 2001
 6. I. Iida, S. Yusuf, U. Watanabe and Y. Imamura: Liquid penetration of precompressed wood VII- Combined treatment of precompression and extraction in hot water on the liquid penetration of wood, J. Wood Science, **48**, 81-85, (2002)
 7. Y. Sudiyani, S. Horisawa, K. Chang, S. Doi and Y. Imamura: Change in surface properties of tropical wood species exposed to the Indonesian climate in relation to mold colonies, J. Wood Science, **48**, 542-547, (2002)
 8. Y. Indrayani, T. Yoshimura, Y. Imamura, Y. Yanase and Y. Fujii: Acoustic emission (AE) monitoring of dry-wood termite feeding activities under various relative humidity and temperature conditions, Proceedings of the 14th International Congress of IUSISI, 101, 2002
 9. Y. Indrayani, Y. Yanase, Y. Fujii, T. Yoshimura and Y. Imamura: Acoustic emission (AE) monitoring of dry-wood termite feeding activities under various relative humidity (RH) conditions, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 107-112, 2002
 10. R. Yusiasih, T. Yoshimura, T. Umezawa and Y. Imamura: Evaluation of biological activities of tropical wood extractives responsible to durability against termite and fungi, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 491-497, 2002
 11. M. Muin, A. Adachi, M. Inoue, T. Yoshimura and K. Tsunoda: Feasibility of supercritical carbon dioxide as a carrier solvent for preservative treatment of wood-based composites, J. Wood Science, **49**, 65-72, (2003)
 12. R. Yusiasih, T. Yoshimura, T. Umezawa and Y. Imamura: A novel screening method for wood extractives by direct cellulose thin layer chromatography plate, J. Wood Science, **49**, 377-380, (2003)
 13. M. Muin and K. Tsunoda: Preservative treatment of wood-based composites with IPBC using supercritical carbon dioxide impregnation. J. Wood Science, **49**, 430-436, (2003)
 14. M. Muin and K. Tsunoda: Termiticidal performance of wood-based composites treated with silafluofen using supercritical carbon dioxide, Holzforschung, **57**, 585-592, (2003)
 15. T. Yoshimura, Y. Imamura and M. Takahashi: Attacks on form insulation materials by *Coptotermes formosanus* Shiraki and *Reticulitermes speratus* (Kolbe), Japan J. Environmental Entomology & Zoology, **14**, 213-221, (2003)
 16. Y. Indrayani, T. Yoshimura, Y. Fujii, Y. Yanase, Y. Okahisa and Y. Imamura: Survey on the

- infestation of houses by *Incisstermes minor* (Hagen) in Kansai and Hokuriku areas, Japan J. Environmental Entomology & Zoology, **15**, 261-268, (2004)
17. Y. Indrayani, T. Yoshimura, Y. Yanase, Y. Fujii, H. Matsuoka and Y. Imamura: Wood-Feeding Behavior of Four Termite Species Covering Three Different Habitations, Proceedings of 3rd International Symposium on Surfacing and Finishing of Wood, 425-432, 2004
 18. Y. Indrayani, T. Yoshimura, Y. Yanase, Y. Fujii, H. Matsuoka and Y. Imamura: Feeding behavior of the exotic dry-wood termite *Incisstermes minor* (Hagen), Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 108-113, 2004
 19. M. Muin and K. Tsunoda: Biological resistance of wood-based composite impregnated with a fungicide-termiticide mixture formulation using supercritical carbon dioxide, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 140-144, 2004
 20. M. Muin and K. Tsunoda: Retention of silafulofen in wood-based composites after supercritical carbon dioxide impregnation, Forest Products J., **54**, 168-171, (2004)
 21. M. Muin and K. Tsunoda: Biological performance of wood-based composites treated with a formulation of IPBC and silafulofen using supercritical carbon dioxide, J. Wood Science, **50**, 535-539, (2004)
 22. 角田邦夫、ムスリザル・ムイン：超臨界二酸化炭素を利用する木材および木質材料の保存処理、木材保存、**30**, 2-5, (2005)

有機系廃棄物のコンポスト化による資源化・循環

Composting of Organic Wastes into Multifunctional Recyclates

研究期間：平成11年度～平成13年度

* 寺沢 実	北海道大学大学院農学研究科
橘 燦郎	愛媛大学農学部
坂井 克己	九州大学大学院農学研究院
大橋 英雄	岐阜大学農学部
* Neni SINTAWARDANI	Research Center for Physics, LIPI
Antonius SUBIYATNO	Technical Implementation Unit for Chemical Processing of Materials, LIPI
I. G. K. Tapa DARMA	Bogor Agricultural University

これまでに、GADE システム、BT システムにオガ屑を人工土壌マトリックスとして用いて、生ゴミや人糞尿の資源化処理法を提言してきた。日本産主要針葉樹のオガ屑は、人工土壌マトリックスとして使用する際のバクテリア繁殖能へ悪影響を与えないことが判明している。

本研究は、熱帯産材のオガ屑を用いた場合のバクテリア繁殖へ与える影響を調べることを主目的としている。有機系廃棄物の資源化処理に有効に働くバクテリア類のスクリーニングもターゲットに入れている。

有機系廃棄物のコンポスト化により未利用森林資源の有効利用を行うとともに有機肥料の自給に寄与する。

研究成果

平成10年度(1998, 準備)： 寺沢実(北大)、坂井克己(九大)、大橋英雄(岐阜大)、橘燦郎(愛媛大)の4名がインドネシアを訪問した。堆肥造りへの取り組み、木質のバクテリア増殖への影響についても予備調査を行った。堆肥化施設を訪問したかったが、果たせなかった。北大(寺沢実教授)で、ビリアン材(ボルネオ鉄材)の含有成分について研究し、シロアリ忌避物質 eusiderin I を単離した。

平成11年度(1999, 開始)： 坂井克己がインドネシアを訪問し、インドネシアの LIPI から Neni Sintawardani 女史を招聘した。Neni Sintawardani 女史は、九大(坂井克己教授)において、南洋材中の抗菌活性、チロシナーゼ活性阻害に関する有効成分のスクリーニングを行い、北大(寺沢実教授)において GADE システムについて研修し、BT、LMF システムについて、旭川の正和電工(株)において研修を行った。

平成12年度(2000, 2年次)： 大橋英雄、寺沢実、がインドネシアのボゴール、バン

ドンでの堆肥化施設を訪問し、インドネシアの LIPI から Antonius Subiyanto 氏を招聘した。Antonius Subiyanto 氏は、岐阜大（大橋英雄教授）で各種の熱帯産樹木抽出物の抗菌活性について共同研究をした。特に、Merbau材から、benzaldehyde類、flavonoid類、stilbene類などの各種抗菌活性成分に関する研究をおこなった。

Antonius Subiyanto 氏は、北大（寺沢 実教授）で牛糞尿の資源化処理、コンポストの成形利用などを行い、また、生ゴミ分解処理（GADE）システムから得られる使用後のオガ屑（コンポスト）の成型を試み、接着剤なしにボードを作成した。旭川の正和電工（株）において研修し、家畜糞尿資源化処理（LMF）システムの有効性を検証した。

平成 13 年度(2001, 最終)： オガ屑や GADE コンポストを菌床担体として使用し、キノコの栽培を行った。Melia azedarach L. のオガ屑をメタノールで抽出し、メタノール抽出物には、抗菌性、 α -glucosidase 阻害活性、フリーラジカル消去能などがあることを認めた。メタノール抽出残渣のオガ屑を用いて、キノコ *Ganoderma lucidum* の栽培に成功した。また、*Ganoderma lucidum* の抽出液は、*Bacillus subtilis*、*Escherichia coli*、*Staphylococcus aureus* の増殖を抑え、 α -glucosidase の阻害活性を示した。熱帯産木質バイオマスの抽出物の利用、抽出残渣オガ屑の人工土壌マトリックスやキノコ栽培への利用、使用後のマトリックス残渣やキノコ栽培残渣のボードやポットへの成型加工などを通じて、廃棄物であるオガ屑を多機能性資材へと変換させることに成功した。

橘 燦郎と寺沢 実がインドネシアを訪問し、ボゴール農科大学の Tapa Darma 氏を招聘した。Tapa Darma 氏は、愛媛大（橘 燦郎教授）において熱帯材の抗菌性成分に関する共同研究を行、*Taxus cuspidata* var. *nana* や、アンボイナ材の抗菌性を認めた。北大（寺沢 実教授）では、廃材(オガ屑)利用のキノコ栽培試験を行った。

平成 14 年度以降(2002~現在)： 北大（寺沢 実教授）では、本プロジェクトによって、立ち上げさせて頂いた諸研究成果を基に、「オガ屑を人工土壌マトリックスとして用いたバイオマス廃棄物の資源化」に関する国際シンポジウムを北大・院農で開催した(2002)。

愛媛大（橘 燦郎教授）では、Kempas 材や *Pterocarpus* 材は抗菌性を有しないが、Amboyna 材には抗菌性があることを見出し、Amboyna 材から β -eudesmol (1), isoliquiritigenin (2), liquiritigenin (3), pterocarpol (4)などを単離した。化合物(1)、(2)および(3)は、木材腐朽菌の生育を阻害し、化合物(2)と(3)は、16~40 μ M の低濃度で、6種の植物病原菌の生育を阻害することを明らかにした。このことから、Amboyna 材のオガ屑を GADE、BT システムのマトリックスとして利用する際には、予備抽出が必要であることを提示した。

岐阜大（大橋英雄教授）では、熱帯産材のメルボウ心材やチーク心材中の生理活性成分に関する研究を進展させ、腸内細菌、ニキビ菌、アクネ菌などへの抗菌性や、抗酸化能に関する研究を継続中であり、有用抽出成分を抽出した後の残渣オガ屑は、GADE、BT、LMF システムなどのマトリックスとして使用可能であることを示した。

北大（寺沢 実教授）では、北大拠点校 JSPS/LIPI プロジェクト（1998~）や JST/CREST プロジェクト（2003~）等の研究支援により、バイオトイレ（BT）システム、家畜糞尿

資源化処理 (LMF) システム、生ゴミ資源化処理 (GADE) システムなど、オガ屑を人工土壌マトリックスとして利用する「バイオマス廃棄物資源化処理」に関する研究を深化させ、また、諸システムで利用した後の残渣マトリックスを多機能性資材へ変換するシステムの開発を深化させつつある。

平成 17 年 6 月 8 日に、バイオトイレに関する研究「おが屑を用いた乾式し尿処理装置の開発」で、第 32 回・環境賞・優秀賞（環境大臣賞）＜（財）日立環境財団・日刊工業新聞社（株）共催＞を、正和電工（株）と北海道大学とで共同受賞した。

以上、おおむね計画通りに研究が進んだ。プロジェクト終了以降も、研究はいろいろな形で継続されている。しかしながら、本プロジェクトの目的の一つであった、「GADE システム、BT システム、LMF システムに有効に働く有効バクテリアのスクリーニング」に関する研究については、まだ成果が上がっていない。今後も継続検討すべき課題である。

研究業績

1. 若山真人、猪瀬響、申有秀、寺沢実： 南洋産ビリアン材の含有成分、日本木材学会北支講、**30**、87-89 (1999)
2. Minoru Terazawa, *et al.*: Biodegradation of Non-lignocellulosic Substances I.: systems for complete decomposition of garbage using sawdust and aerobic soil bacteria, *J. Wood Science*, **45**, 354-358 (1999)
3. Sakae Horisawa, Minoru Terazawa, *et al.*: Biodegradation of Non-lignocellulosic Substances II. : physical and chemical properties of sawdust before and after use as artificial soil, *J. Wood Science*, **45**, 492-497 (1999)
4. Masahide Sunagawa, Minoru Terazawa *et al.*: Biodegradation of Non-lignocellulosic Substances III. Effect of hot- and cold-water extractives of sawdust on bacterial multiplication, *Research Bulletin of the Hokkaido University Forests*, **57**, 66-70 (2000)
5. Minoru Terazawa *et al.*: Composting of Biomass Wastes into Multifunctional Recyclates, "Science for Sustainable Utilization of Forest Resources in the Tropics", 52-53, 2000
6. Minoru Terazawa and Antoinius Subiyatno: Composting of Biomass Wastes into Multi-functional Recyclates, *Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium*, 293-296, 2000
7. Sakae Horisawa, Minoru Terazawa, *et al.*: Effect of moisture content of a wood matrix on a small-scale biodegradation system for organic waste, *J. Wood Science*, **46**, 317-321 (2000)
8. Sakae Horisawa, Minoru Terazawa, *et al.*: Effect of environmental temperature on a small-scale biodegradation system for organic waste, *J. Wood Science*, **47**, 154-158 (2001)
9. Sakae Horisawa, Minoru Terazawa, *et al.*: Succession of the Community of Dominant Growth as an Aerobic Biodegradation for Garbage, Which Uses a Wood Matrix, *Eurasian J. Forest Research*, **3**, 11-12 (2001)
10. 大橋英雄、山田裕子、河合真吾： インドネシア産材抽出成分の腸内細菌に対する抗菌

活性；第 51 回日本木材学会大会研究発表用紙集、631、2001

11. Minoru Terazawa: Effective Utilization of Forest Biomass —Utilization of Sawdust as Artificial Soil Matrix for Bio-conversion of Biomass Wastes into Multi- functional Recyclates—, 北大拠点校 JSPS/LIPI ワークショップ, 52-54, 2002
12. Minoru Terazawa : オガ屑が地球を救う—オガ屑を人工土壌マトリックスとして用いたバイオマス廃棄物の資源化・循環 (英文) —, CREST/JST : 第 1 回・国際シンポジウム (南京)、9-12、2003
13. 中川智景、川原治貴、山田洋佑子、河合真吾、大橋英雄 : メルボウ心材抽出成分の腸内細菌類に対する抗菌活性；2003 年度日本木材学会中部支部大会講演要旨集(第 13 号)、40-412003
14. Kusuma, I, W., Ogawa, T., Itoh, K., Tachibana, S.: Isolation and Identification of an Antifungal Sesquiterpene Alcohol from Amboyna Wood, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **7**, 1735-1740 (2004)
15. Irawan, W. K., Azuma, M., Ogawa, T., Itoh, K., Tachibana, S.: Isolation of antifungal compounds from Amboyna wood and its antifungal activities against some plant pathogenic fungi. 日本木材学会中国四国支部大会, 東広島, 9 月, 第 15 回日本木材学会中国四国支部研究発表会要旨集、60-61、2004
16. Shinya Hotta, Naoyuki Hunamizu, Minoru Terazawa: バイオトイレからの水の蒸発とアンモニアの揮散 (英文)、CREST/JST : 第 2 回・国際シンポジウム (長春)、69-72, 2004
17. Minoru Terazawa: バイオトイレ・コンポストの有効利用 (英文) CREST/JST : 第 3 回・国際シンポジウム (西安)、ポスター, 2005
18. Kusuma, I, W., Itoh, K., Tachibana, S.: Antifungal Activites Against Plant Pathoigenic Fungi of Flavonoids isolated from Amboyna Wood, *Pakistan Journal of Biological Sciences*, **8**, 136-140 (2005)
19. Kusuma, I., W., Azuma, M., Tapa D., Itoh, K., Tachibana, S.: Isolation and Identification of Antifungal Compounds from Amboyna Wood, *Holzforchung*, **59**, 170-172 (2005)
20. 日下泰昌: メルボウ (*Intsia* spp.) 心材抽出成分のニキビ菌 (*Propionobacterium acnes*) に対する抗菌活性；岐阜大学大学院農学研究科修士論文, 2005
21. Minoru Terazawa: 「オガ屑を人工土壌マトリックスとして用いたバイオマス廃棄物の資源化」に関する国際シンポジウムを主催；札幌 (北海道大学) 2002 (印刷中)
シンポジウム発表論文：本プロジェクト関係者分のみ。
Neni Sintawardani, Minoru Terazawa: Performance of GADE Machines during Start-up Process using Sawdust as a Matrix for Treating Garbage.
Takayoshi Morishita, Minoru Terazawa: Biodegradation of Garbage, Food Oriented Waste, in Sawdust Matrix of GADE Machine.
Sakae Horisawa, Minoru Terazawa *et al.*: The effect of moisture content of a wood matrix on

degradation rates and microbial communities in the GADE machine.

Kuniyoshi Shimizu, Neni Sintawardani, Kokki Sakai: Anti-tyrosinase Activity of the Extracts from Tropical Wood, –A Review–.

Hideo Ohashi, Antonius Subiyatno *et al.*: Anti-bacterial Constituents of Indonesian Woods and Their Possible Application on the Breeding of Domestic Animals.

Tapa Darma, Sanro Tachibana *et al.*: Anti-fungal Activity of the Extracts from some Tropical and Temperate Woods.

Kokki Sakai, Yoshio Hirano, Ryuichiro Kondo: Potent α -reductase inhibitory compounds from tropical woods.

Sanro Tachibana *et al.*: Production of Biologically Active Substances from Woody Plants—Taxol and podophyllotoxin production by tissue cultures of *Taxus cuspidata* var. *nana* and *Juniperus chinensis*—.

Hideo Ohashi, Shingo Kawai: Extractives from Tropical Woods and Their Chemical Use, the case of Merbau (*Instia* sp, Leguminosae).

Minoru Terazawa: Molding of the Compost Derived from the GADE, BT and LMF Systems into Multi-functional Recyclates.

Tapa Darma, Minoru Terazawa, Yutaka Tamai: Sawdust Based Growing Media for Tree Breeding Nurseries in Indonesia.

造林チークの育林条件がその材質に及ぼす影響

Studies on the effect of silvicultural conditions to the wood qualities of plantation teak

研究期間：平成11年度～平成13年度

* 奥山 剛 名古屋大学大学院生命農学研究科
山本 浩之 名古屋大学大学院生命農学研究科
福島 和彦 名古屋大学大学院生命農学研究科
吉田 正人 名古屋大学大学院生命農学研究科

* Yusuf Sudo HADI Bogor Agricultural University
Imam WAHYUDI Bogor Agricultural University

背景と目的：高級木材である天然産チークの商業取引が禁止されている現在、熱帯における植林チーク供給への期待が高まっている。しかし植林チークの材質の良悪はいまだ議論の中にある。とくに成長速度が大きい個体の材質が、天然産のそれに劣るか否かが、生産国のチーク林業にとって大きな問題となる。以上を背景として本プロジェクトでは、植林チークの生育環境が成長応力をはじめとする各種材質に及ぼす影響について、フィールド調査を中心とする実証的研究を行なった。もって材質改良のための指針を得ることを目指した。さらに、伝統的施行法である“巻枯し処理 (girdling treatment)” について、その科学的根拠を明らかとすることを目的の一つとした。今回のプロジェクトでは、中部ジャワ州のチーク人工造林地を使用し、成長応力を現地測定し、さらに採取した木材試料を持ち帰り、材密度、細胞壁構造、主要化学成分、未成熟材範囲を測定した。そして、一連の結果を成長速度（あるいは樹齢）と比較し、さらには巻枯し処理の材質改良効果（樹幹内部の成長応力や含水率の低減）について検討を行なった。

研究実施計画と実施経過：これまで当研究チームは、主として西部ジャワ島の造林チークについても研究を行ってきた。降水量の大きい同地域では、植林樹木の成長速度が非常に大きく、チークについては収穫前の1年間に巻枯し処理を行っている。比較的降水量の少ない中部ジャワの造林地では、収穫までに2年間の巻枯しを行っている。両地域の比較研究を通じて、巻枯し処理の意義や処理効果の有無は、はっきりするものと考えられる。そこで本プロジェクトでは、中部ジャワ州植林地での現地測定（木部表面成長応力、樹幹内残留応力）に加え、心材の色（変化）、ヘミセルロースの変化（劣化）についての分析作業を行った。

研究成果

造林チークの成長速度が表面成長応力および各種材質に及ぼす影響：従来の研究成果

をも含めて検討したところ、造林チークの成長応力は、肥大成長速度の大小に影響されずほぼ一定の値をとることが明らかとなった。なお材色については、西部ジャワ産チークに比べて、中部ジャワ産の方で、明らかに心材色の暗色化が目立っていた。一方、成長速度は中部ジャワ産チークの方が小さかった。

材成熟特性: 材密度およびマイクロフィブリル傾角の半径方向分析の測定から、生育 10-12 年程度で成木となることをほぼ明らかとした。すなわち、密度は髄から 5-6cm、年輪数 10-12 まで上昇し、そのあと一定となる。またマイクロフィブリル傾角は、年輪数 10-12 あたりで一定値となることが明らかとなった。

巻枯し処理の効果: 一年間の巻枯し処理によって、樹幹内の含水率は立木の状態で 20% 程度にまで減少し、しかも残留応力の低下も確認された。化学成分については、巻枯しによる変化は測定されなかった。これらの測定値には個体差があるとみられるため、同一樹幹について三年間の追跡測定を試みた。すなわち、平成 11 年度に、樹幹 3 本について巻枯し処理を施し、表面応力の変化を追跡測定した。一年間の巻枯し処理で個体の形成層細胞は死滅し、木部表面での含水率も 20% にまで低下し、続く二年目、三年目でも変わらないことが明らかとなった。成長応力については一年目では多少小さくなるものの、その後大きな縮みの解放ひずみが、円周方向に不規則に増大することが明らかとなった。その理由については、樹幹の乾燥（含水率減少）による質量変化がスプリングバックを発生させ、樹幹に複雑な変形が生じたためである。

総括: 成長速度を増大させるような施行は、決して材質（表面成長応力、樹幹内成長応力、材密度、マイクロフィブリル傾角など）を低下させることはない。このことは造林計画を立案・実行する上で極めて有益な結論となる。なお、降雨量が相対的に小さい中部ジャワ州では、西部ジャワ産に比べて植林チークの肥大成長速度はやや小さくなっていたが、材色は明らかに暗色化していた。そのことは、中部ジャワ産チークの意匠的価値を増加させる。このことは、産地における降雨量が関係しているものと思われる。また、1~2 年間程度の巻枯し処理は、樹幹内残留応力および含水率の低減に効果がある。その経済的（工業的）意味は高いものと判断される。応力低減には含水率低下が関わっているかも知れないが、そのメカニズムの解明とともに、他樹種への適用可能性をも探る必要があるだろう。

研究業績

1. Wahyudi, I., Watanabe, H., Yoshida, M., Yamamoto, H., Hadi, Y.S. and Okuyama, T.: Tegangan Pertumbuhan dan Pengaruhnya Terhadap Kualitas Kayu Jati (*Tectona grandis*): duta RIMBA (Monthly Journal of Perum Perhutani, Indonesia), **34**, 33-35 (1999)
2. Wahyudi, I., Okuyama, T., Hadi, Y. S., Yamamoto, H., Yoshida, M., and Watanabe, H.: Growth stress and strains of *Paraserianthes falcataria* grown in Indonesia, and their influence on the wood properties, *Jurnal Teknologi Hasil Hutan, Fakultas Kehutanan IPB XII(2)*, 46-57 (1999)

3. 奥山 剛: 熱帯植林木の利用促進の必要性, Wood-Mic, No.203, 26-32 (2000)
4. Wahyudi, I., Okuyama, T., Hadi, Y.S., Yamamoto, H., Watanabe, H. and Yoshida, M.: Relationships between released strain and growth rate in 39 year-old *Tectona grandis* planted in Indonesia, Holzforschung, **55**, 63-66 (2001)

オイルパームのゼロエミッションプロセス

Zero Emission Processes for Oil Palm Utilization

研究期間：平成11年度～平成13年度

* 川井 秀一	京都大学木質科学研究所
栗原 正章	京都大学木質科学研究所
渡邊 隆司	京都大学木質科学研究所
矢野 浩之	京都大学木質科学研究所
畑 俊充	京都大学木質科学研究所
佐野 嘉拓	北海道大学大学院農学研究科
* Sambang SUBIYANTO	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Bambang PRASETYA	R&D Center for Applied Physics, LIPI
SUBYAKTO	R&D Center for Applied Physics, LIPI
Anita FIRMANTI	Research Institute of Human Settlements Technology
Sipon MULADI	Mulawarman University
Didiek Hadjar GOENADI	Biotechnology Research Unit for Estate Crops
Yufnal AWAY	Biotechnology Research Unit for Estate Crops
Ee Ding WONG	Universiti Putra Malaysia

パーム油生産過程で排出されるトランク、フロンド（葉柄）、空果房（Empty fruits bunch）等の各種廃棄物は、リグノセルロース資源として有用であると共に、その有効利用は周辺地域の公害を軽減するうえでも大切である。

本研究は、オイルパーム廃棄物のリサイクル利用に焦点を当て、4つの異なる生産プロセス、すなわち、1)木質材料の製造、2)パルプの製造、3)糖の生産、および 4)木材炭化について、省エネルギー生産プロセスを開発し、さらに各生産プロセスにおけるエネルギーフローを解析、最適化によって、ゼロエミッションプロセスの構築を目指している。

本研究によって、オイルパーム廃棄物資源の特徴を活かした新規材料の創製や省エネルギー技術を開発し、プロセス全体の物質フローとエネルギーフローの最適化によってゼロエミッションプロセスの構築が期待される。

研究成果

1. オイルパーム廃棄物のマテリアルフローの解析

アブラヤシの植物繊維資源としては、植林地に残されるトランクおよび、フロンド、油搾出工場で排出される空果房（EFB）が存在する。インドネシアジャワ島ならびに半島マレーシアについて、それぞれ一つのオイルパーム植採地および油搾出工場を閉鎖系のケーススタディモデルに選び、マテリアルフローを調査した。現在、これらの資源はほとんど未

利用であるが、植採地ならびに油搾出工場のマテリアルフローを検討すると、トランクおよびフロンドは林地にコンポストとして還元し、EFBのみを利用の対象とするほうが合理的である。

2. オイルパーム廃棄物のリサイクル利用技術の開発

1) オイルパームを EFB を用いた配向性中密度ファイバーボード (MDF) の製造技術の開発

植物長繊維用配向装置を新たに開発し、これを EFB 繊維に適用して配向性中密度ファイバーボードの製造を試みた。その結果、押金配向角は 20 度以下に達し、イソシアート樹脂接着剤を添加した密度 800kg/m^3 の MDF の配向性曲げ強度は 53MPa、曲げヤング率は 3.7GPa の値が得られた。

2) オイルパームフロンドセメントボード製造技術の開発

フロンドのセメント硬化阻害性を調べ、硬化促進剤を添加しない場合には、水和反応が著しくおくれ、常法ではボードの強度が十分発現しないこと、一方、促進剤として MgCl_2 を 5～8% 添加することによって、これが改善されることを明らかにした。他方、 MgCl_2 の添加料の増加に伴い、寸法安定性が低下する。オイルパームフロンドセメントボードの製造に新たに開発した二酸化炭素養生法を適用した。その結果、硬化促進剤の製造条件下で強度・寸法安定性共に優れたボードが製造でき、迅速硬化が可能であるために、著しい生産性の向上をもたらすことが判明した。

研究業績

1. Ohnishi, K., Okudaira, Y., Sawada Y. and Kawai, S.: Improvement on the Dimensional Stability of MDF Made from Oil Palm Fibers by Plazma Treatment, Utilization of Oil Palm Tree, 61-66, 1996
2. Subiyanto, B., Sulastiningsih, I. M., Hermawan, D., Umemura, K., Hata, T. and Kawai, S.: Production Technology of Oil Palm Cement Bonded Particleboard I, Hydration Behaviour of Cement mixed with Powder Oil Palm Fronds, Proceedings of 2nd International Wood Science Seminar, C207, 1998
3. Kawai, S., Ohnishi, K., Sugawara, R., Okudaira, Y. and Zhang, M.: New Processing technology for Aligning Lignocellulosic Fibers, International Conference on Effective Utilization of Plantation Timber, 109-114, 1999
4. Okudaira, Y., Ohnishi, K., Sugawara, R., Ueda, T. and Kawai, S.: Fiber Processing for Oriented MDF from Oil Palm EFB Fibres, Submitted to 5th National Seminar on Utilization of Oil Palm Tree, 2000
5. Kawai, S., Subiyanto, B.: Zero-emission Processes of Oil Palm Utilization, A short report of the project in the core university program, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 297, 2000
6. Wong, E-D., Razali, A. K. and Kawai, S.: Zero-emissions in Palm Oil Industry: Case study of east

- oil mill, Golden Hope Plantations Bhd., Malaysia, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 153-156, 2000
7. Hermawan, D., Hata, T., Kawai, S., Nagadomi, W. and Kuroki, Y.: Rapid production of oil palm cement bonded board by using gaseous or supercritical carbon dioxide, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 101-106, 2000
 8. Hermawan, D., Kawai, S. and Subiyanto, B.: Manufacture and properties of oil palm frond cement bonded board, *J. Wood Science*, **47**, 208-213 (2001)
 9. Hermawan, D., Hata, T., Kawai, S. and Nagadomi, W., Kuroki, Y.: Manufacturing oil palm frond cement bonded board cured by gaseous or supercritical carbon dioxide, *J. Wood Science*, **48**, 20-24 (2002)
 10. Subiyanto, B., Subyakto and Kawai, S.: Zero-emission processes of oil-palm utilization, case study of oil palm in PT. Kertajaaya Lebak Banten Province, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 305-311, 2002

森林生態系における共生ならびに腐朽性担子菌類に特有な有機酸代謝の生化学的解析

Biochemical analysis of organic acid metabolism of symbiotic and saprophytic basidiomycetes occurring in forest ecosystems

研究期間：平成12年度～平成14年度

* 島田 幹夫	京都大学木質科学研究所
黒田 宏之	京都大学木質科学研究所
服部 武文	京都大学木質科学研究所
* Yadi SETIADI	Bogor Agricultural University
Erman MUNIR	The University of North Sumatera
Irdika MANSUR	Bogor Agricultural University
Asmarlaili SAHAR - HANAFIAH	The University of North Sumatera
Ir. T. SABRINA	The University of North Sumatera
Didiek Hadjar GOENADI	Biotechnology Research Unit for Estate Crops
Happy WIDIASTUTI	Biotechnology Research Unit for Estate Crops
Darmono TANIWIRYONO	Biotechnology Research Unit for Estate Crops

現在、共生菌根菌の宿主成長促進作用を利用した熱帯雨林再生及び、荒廃地造林に於いては、限られた種類の菌根菌しか用いられておらず、特に宿主根への着生は自然界の営みに任せられているため、森林再生の高効率化が図れない。一方、共生菌根菌はシュウ酸などの有機酸を分泌して不可給態リンを植物に利用可能にして宿主の生長を助けられていると考えられている。そこで、本研究所の目的は以下の3点である。1) 有機酸生産の生化学的原動力となっているグリオキシル酸回路の役割を酵素・遺伝子レベルで解析する。2) 外生菌根菌による宿主生育促進機構を解明し、宿主生長促進物質を同定する。3) インドネシアにおける、マツ生育促進作用のある菌根菌を選抜し、実地試験を行う。本研究でグリオキシル酸回路の役割および生長促進機構を解明すれば、1) 森林微生物における有機酸代謝機構に基礎的知見を供給できる。2) 菌根菌の根への着生率の向上。3) 生物肥料としての生長促進の向上。が期待され、森林の再生や農作物の生産にも寄与できると考えられる。

研究成果

- 1) 最も大きな成果は拠点大学交流枠で北スマトラ大学講師である Erman MUNIR 氏を国費留学生として受け入れ、本学大学院農学研究科農学博士を授与できたことである。
- 2) 特に、共同研究が米国科学アカデミー紀要 (PNAS) に掲載され、学術的発展に大きく貢献した。
- 3) さらに、Erman MUNIR 氏は卓越した留学生としてインドネシア科学院から研究奨励賞

を受賞し、北スマトラ大学教員として高く評価されスマトラ地区での大きな社会貢献を果たした。

- 4) また、ボゴール農科大学講師の Yadi SETIADI 博士の研究グループとは交流セミナーを開き、「インドネシアの森林事情」について理解を深めた。
- 5) MUNIR 博士との共同研究成果などは以下のようにとりまとめて発表した。

研究業績

1. Munir, E., J.J. Yoon, T. Tokimatsu, T. Hattori, and M. Shimada: A physiological role for oxalic acid biosynthesis in the wood-rotting basidiomycete *Fomitopsis palustris*, PNAS, **98**, 11126-11130 (2001)
2. Munir, E., J.J. Yoon, T. Tokimatsu, T. Hattori and M. Shimada: New role for glyoxylate cycle enzymes in wood-rotting basidiomycetes in relation to biosynthesis of oxalic acid, J. Wood Science, **47**, 368-373 (2001)
3. Munir, E., T. Hattori and M. Shimada: Purification and characterization of malate synthase from the glucose-grown wood-rotting basidiomycete *Fomitopsis palustris* grown on glucose, Biosci. Biotechnol. Biochem., **66**, 576-581 (2002)
4. Munir, E., T. Hattori and M. Shimada: Purification and characterization of isocitrate lyase from the wood-destroying basidiomycete *Fomitopsis palustris* grown on glucose, Arch. Biochem. Biophys., **399**, 225-231 (2002)

熱帯産造林木のパルプ化および漂白過程における抽出成分の挙動

Behaviors of Extractives during Pulping and Bleaching of Tropical Plantation Woods

研究期間：平成12年度～平成14年度

* 飯塚 堯介	東京大学大学院農学生命科学研究科
松本 雄二	東京大学大学院農学生命科学研究科
磯貝 明	東京大学大学院農学生命科学研究科
鮫島 正浩	東京大学大学院農学生命科学研究科

* Wasrin SYAFII	Bogor Agricultural University
Deded Sarip NAWAWI	Bogor Agricultural University
Nyoman J. WISTARA	Bogor Agricultural University
Sipon MULADI	Mulawarman University
Ridwan YAHYA	Bengkulu University

木材のパルプ化、漂白に関する基礎的研究は、世界的にもこれまで主として温帯産材を対象として行われてきた。近年の熱帯産造林木のパルプ製造原料としての利用の増大に伴い、これらの木材の蒸解・漂白過程における挙動を、主成分のみならず、特性的に含まれる抽出成分に注目し検討することが必要となっている。なお、漂白方法としては、酸素、過酸化水素等の非塩素系漂白剤を中心に検討する。本研究は、1) 熱帯産造林木のパルプ化 2) 熱帯産造林木パルプの漂白 3) パルプ化、漂白における抽出成分の挙動 4) パルプの品質評価 の各項目からなっており、これによって熱帯産造林木からのパルプ製造技術に特有の諸問題を明らかにするとともに、その最適化に資することを目的としている。

なお、本研究によって蒸解・漂白過程における抽出成分の挙動が明らかとなるならば、抽出成分を考慮した新たな蒸解・漂白技術の開発も可能となり、これによってこれら熱帯産造林木の一層適切な利用方法が拓かれるものと考えている。

研究成果

インドネシアなどの熱帯地方で広範に植林されている早成樹のパルプ化適性を判断する目的で、*Gmelina arborea*、*Eucalyptus deglupta*、*Paraserianthes falcataria* について、冷アルカリおよび熱アルカリ抽出に伴う木材成分の溶出挙動を解析した。これらの樹種は蒸解の極めて初期に著量の非リグニン成分が失われ、それによりアルカリの消費も進行することがわかった。したがって、これらの樹種のパルプ化にあたっては、前アルカリ抽出によって対象となる抽出物を事前に取り除くことが、パルプ化工程の適切な管理のためには有効であると考えられる。なお、抽出物の過マンガン酸カリウム消費量、有機炭素含有量の検

討から、アルカリに溶解しやすい多糖類の存在が示唆された。

次いで、*Gmelina arborea* について、蒸解初期における成分の溶出挙動を詳細に解析した。室温でのアルカリ抽出によってリグニンの一部が溶出することを、オゾン分解法、ニトロベンゼン酸化法、メトキシル基分析などによって明らかにした。また、多糖類では、量的にはセルロース、ヘミセルロースの両者とも溶出することが確認されたが、相対的にはヘミセルロースの損失が室温下でも激しいことがわかった。これらが、蒸解初期のアルカリ消費をもたらすと考えられるが、他に抽出成分なども初期のアルカリ消費の原因となっていると予想される。また、ここで確認されたアルカリ抽出性リグニンの化学構造に関しては、現在、詳細に検討中であるが、リグニン化学に新しい知見が得られるものと期待している。

樹皮付小径材のパルプ化適性および得られたパルプの漂白適性については、これまでのところ樹皮の存在が重大な障害となる結果は得られていない。この点については、現在、確認実験を遂行中であるが、資源の有効利用にとって重要な知見となると考えている。

研究業績

1. D. S. Nawawi, W. Syafii, Y. Matsumoto and G. Meshitsuka: Behaviors of extractives during pulping and bleaching of tropical plantation woods.-- Studies on acidic and potentially acidic substances of tropical fastgrowing hardwoods, Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium, 348, 2000
2. D. S. Nawawi, W. Syafii, Y. Matsumoto, T. Akiyama and G. Meshitsuka: The dissolution of wood components from tropical fast growing plantation woods during the initial stage of alkali cooking, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 474-477, 2002
3. Takuya Akiyama, Yuji Matsumoto, Takashi Okuyama and Gyosuke Meshitsuka: Ratio of erythro and threo forms of b-O-4 structures in tension wood lignin, Phytochemistry, **64**, 1157-11621 (2003)
4. T. Akiyama, H.Goto, D.S. Nawawi, W. Syafii, Y. Matsumoto and G. Meshitsuka: Erythro/threo ratio of β -O-4 structures as an important structural characteristic of lignin. Part 4. Variation in the erythro/threo ratio in soft- and hardwood lignins and its relation to syringyl and guaiacyl composition, *Holzforschung*, **59**, 276-281(2005)

ハイグレード熱帯造林木の解剖学的性質と材質特性

Anatomical characteristics and wood quality of tropical plantation trees for quality timbers

研究期間：平成13年度～平成17年度

* 野淵 正 京都大学大学院農学研究科
藤田 稔 京都大学大学院農学研究科
岡田 直紀 京都大学大学院農学研究科

* Imam WAHYUDI Bogor Agricultural University
I Ketut N. PANDIT Bogor Agricultural University
Mohd. Hamami SAHRI Universiti Putra Malaysia
Zaidon ASHAARI Universiti Putra Malaysia

研究の目的

熱帯地域における木材利用は、天然林依存型から人工林依存型へと変化しつつある。ここで造林木に目を向けると、早生樹種に加え、チーク、アガチス等ハイグレードな木材を生産する造林樹種がある。これら造林樹種に関しては将来の期待が大きいが、研究事例が極めて限られている。そこで、保育形式・方法と木材の特性を調べることにより、チーク、アガチス、フタバガキ科のメランティ類を中心に、将来良質材の持続的生産に寄与するための基礎的知見を得ることが、本申請課題の目的である。具体的には、木部形成と心材形成との関係、未成熟・成熟材の特徴、あて材・交錯木理等の欠点材について、保育形式との関係で調べるので、この研究を通して保育・施業の改良から将来良質材生産に必要な情報を提供することが期待できる。

研究成果

① ハイグレード熱帯造林木の植栽条件と材質との関係につき見通しを得た。

優良材生産にとって欠点とされる“あて材”に関し、フタバガキ科等における引張あて材形成、アガチスにおける圧縮あて材形成につき、生育条件との関係を調査し、プランテーションの過程でこれらの発生を軽減させるための指針を得た。

② チークプランテーションにおける材質特性につき、立地条件の選択に対する見通しを得た。

植林木チークについて、木部形成、木材材質に対する水分環境の影響についての評価を行った。すなわち、今までの共同研究を含め、インドネシア、ジャワ島の二箇所のチーク植林地におけるデータを元に、熱帯多雨林的条件下においては、成長輪構造が半環孔材のとなり、また心材色が濃色となること。一方、乾季雨季の明瞭な地域の植林木においては、

自生地における樹木に類似し、成長輪構造がより明瞭になること、また心材色が淡色になることを示した。成長輪構造の相違は、材質にも影響を与えることが推察された。心材色の相違は、木材の材価に大きく影響することを示した。

研究業績

1. Yasunori MUKOGAWA, Tadashi NOBUCHI and Mohd. Hamami SAHRI: Tension wood anatomy in artificially induced leaning stems of some tropical trees, Forest Research, Kyoto No.75, 27-33, (2003)
2. Zaidon ASHAARI, Tadashi NOBUCHI, Mohd. Hamami SAHRI and Mohd. FORIZAN: Anatomical Features and Chemical Characterization of *Acacia* spp., Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 229-235, 2004
3. Yoshiyuki OGATA, Tadashi NOBUCHI, Minoru FUJITA, and Imam WAHYUDI: The Features and intra-tree distribution of growth rings in *Acacia loranthifolia*, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 250-252, 2004
4. Tadashi NOBUCHI, Yuuko HIGASHIKAWA and Togar L. TOBING: Some characteristics of growth ring structure and heartwood of teak (*Tectona grandis*) -Comparison of two plantation sites, central and west Java, Indonesia, Forest Research, Kyoto No. 76, 33-38 (2005)

木質系複合材料の熱帯での生物的劣化防止と難燃性付与のための新しい試み

New Strategies for Controlling Tropical Biodegradation of Woody Composite Materials

研究期間：平成14年度～平成17年度

* 古川 郁夫	鳥取大学農学部
* 今村 祐嗣	京都大学生存圏研究所
土居 修一	筑波大学大学院生命環境科学研究科
畑 俊充	京都大学生存圏研究所
吉村 剛	京都大学生存圏研究所
古野 毅	島根大学総合理工学部
竹松 葉子	山口大学農学部
* Sulaeman YUSUF	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Dodi NANDIKA	Bogor Agricultural University
Fauzi FEBRIANTO	Bogor Agricultural University
Musrizal MUIN	Hasanuddin University
Pipin PERMADI	R&D Center for Forest Products Technology
Rudi DUNGANI	Winaya Mukti University
Faizah ABOOD	Universiti Putra Malaysia
Chow-Yang LEE	Universiti Sains Malaysia

研究の目的

インドネシアおよびマレーシアにおける熱帯性シロアリ等による生物的劣化防止と難燃性付与のための新しい保存法である総合的木材保存システム（IPS: Integrated Preserving System）の提案を試みる。具体的な内容として、環境調和型木材保存剤で処理した木材や木質系複合材料（住宅外構部材）の熱帯性シロアリによる劣化様式の特徴を把握するとともに、劣化程度の評価を試みる。とくに熱帯地域におけるシロアリの生態的特性を考慮した防除法ならびに難燃性付与のための基礎的検討を行う。これらの検討から熱帯地域における木質材料の総合的木材保存システム（IPS）を提案する。

期待される成果

- ① 本研究に用いる環境調和型保存剤によって処理された木材や木質材料の熱帯性シロアリによる劣化特性や熱帯性気候暴露による木質系住宅部材の劣化特性は、熱帯地域での新しいタイプの保存技術の開発に貢献できる。
- ② 熱帯の環境にやさしい木材保存システム（IPS）が提案できれば、熱帯地域における木材保存分野での環境汚染を低減し、貴重な生態系の保全に貢献できる。

③ 本共同研究は、平成 11 年から今村らが実施してきた共同研究「熱帯産木質資源の高耐久利用技術の開発」で蓄積された研究資源とコンセプトを受け継ぎ、これをさらに個別のかつ実践的に発展させる。

研究成果

14 年度研究成果：

- ① 熱帯産シロアリの生息環境および木質材料の被害状況と加害種の同定を現地（カリマンタン）で調査するとともに、シロアリ試料を採取した。カリマンタン地域におけるシロアリ被害について、都市部の住宅の被害と、森林内樹木の被害の両者について比較調査した。その結果、森林内の多くのゴムノキおよび市内の複数の被害家屋からイエシロアリ属シロアリを採集することができ、形態的観察から森林環境と住宅環境に生息するイエシロアリ属種には明らかな違いが認められ、種による棲み分けの可能性が示唆された。
- ② 熱帯産木質資源（タケ、早成樹の各種）で作製した集成ボード類の *Coptotermes curuvignanthas* による耐蟻性能試験を行った結果、Wolmanit CB 処理ボードにおいて耐蟻性が認められた。さらに、日本での招聘研究期間中にそれらの試料の一部についてシロアリ摂食形態の SEM 観察を試みた。
- ③ インドネシアのシロアリ生息地において、シロアリの繁殖を効果的に抑制する新しいベイトシステム試験を開始するとともに、PF 樹脂接着ボード類の耐朽性試験を実施した。
- ④ 熱帯産木質ボード類の耐久性向上と難燃性付与に向けた予備試験に着手した。

15 年度研究成果：

- ① 木材無機質複合体の生物的劣化防止と難燃性付与について、水ガラス - ホウ素化合物系、コロイダルシリカ溶液系あるいはメタホウ酸塩系などの環境調和型木材保存剤で処理した木材無機質複合体の耐蟻性能試験した結果、顕著な耐蟻性能が確認できた。
- ② 低分子フェノール樹脂処理した木質系ボード類（特に熱帯産早成樹材や未利用樹材で製造したボード類）の生物劣化抵抗性（シロアリ抵抗性）を 18 ヶ月間の屋外耐久性試験によって調べた結果、7.5%以上の樹脂含浸率ボード類は未処理ボード類に比べて強度残存率がほぼ 100%であったが、ボードの厚さは試験中に若干増加した。
- ③ マレーシア産木材 15 種と日本産木材 15 種を用いて、マレーシアと日本において、3 種のシロアリを用いた強制劣化試験、チョイス試験、屋外劣化試験等による劣化抵抗性比較試験に着手した。
- ④ インドネシアの住宅加害シロアリ種の生態学的調査を実施し、新しいベイト工法開発のための基礎的資料を得た。まずイエシロアリ属について標識再捕集法を用いたコロニーメンバー数および採餌範囲の推定を行い、その後、ベイト剤の適用を前提としたモニタリングシステムの開発を試みた。また、乾材シロアリについても、インドネシアにおける加害生態について各種先端的探知法を用いた観測を試みた。

⑤ イエシロアリによる木材細胞壁の摂食形態の特徴をSEMでフラクトグラフィー的に観察し、これよりシロアリによる摂食様式(摂食方法、摂食量)の究明を試みた。

⑥ 古川・小林が開発したキトサン銅複合体木材保存剤(CCC)の耐蟻性能を評価するとともに、フナクイムシ防汚性能の評価試験に着手した。CCC処理材の耐蟻性能はCCA並みに強力で、持続性があり、しかも薬剤の安全性が高いことが分かった。

16年度研究成果：

① Yusuf・土井らは、市販のシロアリ寄生菌(*Metarhizium anisopliae*)をシロアリの餌木に効果的に付着させコロニーまで運ばせるための新しいベイト法の開発にかかわる技術的工夫と実証実験を行い、新工法の開発に成功した。今後、実地試験によってこの工法の有効性を確認する。

② 土居らは、耐蟻性に優れた熱帯材である *angka* (*A. heterophyllus*)材中から有機溶剤で逐次抽出した物質をバイオアッセイした結果、酢酸エチル可溶部分画に強い耐蟻成分が含まれていることを見出し、この画分成分を化学分析した結果、この画分成分は *artocarpin* であり、耐蟻性を付与する主物質であることを突き止めた。

③ 古川らは、レスケミカル・高安全性の環境調和型木材保存剤としてキトサン銅複合体(CCC)の開発に成功し、それによって処理(銅含有率 1.0 kg/m³)した木材は高い褐色腐朽抵抗性、シロアリ食害抵抗性ならびにフナクイムシ食害抵抗性、フジツボ着生阻害効果のあることを実地試験によって証明した。

④ 古川は、CCC処理木材中の銅成分の微細分布状況とイエシロアリ口器による物理的齧り取り量との関連性についてSEMで詳細に調べた結果、木材中におけるCCC成分の特異な存在がシロアリの攻撃を効果的に防いでいることを究明した。

⑤ 臨界点CO₂を利用した画期的な低毒性木材保存剤注入法の開発 Muin と角田が開発した。

⑥ 古野は、亜鉛および銅メタホウ酸塩で処理木材に、優れた耐朽性・耐蟻性のあることを実証した。今後、コロイダルシリカ溶液系で処理した木材無機質複合体の耐蟻性能試験を実施する。

17年度研究成果：

平成17年度は、今後人工植林地の増大と人口の増加による住宅需要の増大が見込まれるインドネシア、イリヤンジャヤ州および西パプア州において、植林地及び住宅への加害シロアリ種の同定と伝統的に行われてきたシロアリ防除法に関する現地調査を国際シンポジウムの開催時期に合わせて実施した。また、インドネシア産木材およびケイ素処理木材の耐シロアリ性に関する評価試験、並びにインドネシアで単離された昆虫寄生菌類の殺シロアリ性に関する検討を行った。

① 野外調査

2005年9月2日～5日にインドネシア、イリヤンジャヤ州の州都であるジャヤプラ市および西パプア州の州都であるマノクァリ市における植林地及び居住地におけるシロアリ被害の実態調査を行なった。建造物の被害は、*Glyptotermes* sp.および*Cryptotermes* sp.といった乾材シロアリによるものであった。また、植林地の調査では、*Coptotermes* sp., *Heterotermes* sp., *Schedorhinotermes* sp.に属する数種のシロアリが採集された。インドネシア他地域を含む東南アジアにおけるシロアリ多様性調査では、一般には森林内には20数種のシロアリが観察され、食性も wood-feeder、soil-feeder、fungus-feeder と多岐に渡る。しかし、パプア州の森林は、Rhinotermitidae (ミゾガシラシロアリ科) 1科に属するシロアリのみで、すべてが wood-feeder であった。倒木や生木の枯死部などは乾燥しており、シロアリの多様性は非常に低いといえる。また、東南アジアの他地域では、二次林や植林地において優占種である fungus-feeder の Macrotermitinae が採集されなかったことは大きな特徴であるといえる。

② インドネシア産木材およびケイ素処理木材の耐シロアリ性評価

9種のインドネシア産木材を LIPI-生物材料研究開発ユニットにおいて *Coptotermes* sp. の飼育槽に設置したところ、Acacia、Durian、Kecapi、Mahoni、Nangka および Puspa は高い耐シロアリ性を有したが、Cemara、Karet および Pinus は激しい食害を受けた。また、ケイ素コロイド溶液あるいはケイ素-ホウ素コロイド溶液で処理したスギ試験体をインドネシアにおいて野外暴露試験に供した結果、*Coptotermes* sp.および *Macrotermes* sp. による攻撃を全く受けず、高い耐シロアリ性を有することが明らかとなった。

③ 昆虫寄生菌類の殺シロアリ性評価

インドネシアにおいてシロアリ等から単離した *Fusarium* sp., *Beauveria* sp., *Aspergillus* sp., *Paecilomyces* sp., *Myrothesium* sp., *Metarhizium* sp. および *Verticillium* sp. について、*Coptotermes* sp. に対する殺虫性を室内試験によって評価した結果、ほとんどの菌が高い殺シロアリ活性を示し、現在の化学薬剤に変わるシロアリ駆除法としての生物学的工法の可能性が示された。

④ インドネシアにおけるフナクイムシ被害と防除

インドネシアにおけるフナクイムシ被害の現状とその対策の実情について調査したところ、*Teredo* 種、*Bankla* 種、*Martesla* 種と *Crustaceus* 類のフナクイムシが主なもので、これらの成育環境条件（水温、塩分濃度、潮位、波、水中酸素濃度）が大きく被害発生に関与していること、また防汚剤としては、かつては CCA が使われていたが、現在はペースト状の CCB が使用され、これらの被害を効果的に防ぐことができるとのことであった。熱帯海岸地域では、木造船、住居材への被害は甚大であり、古川らが開発した CCC (キトサン銅複合体) の展開先として重要であることを認識した。

研究業績

1. Yoshimura, T. et. al.: Comparative Susceptibility of Malaysian and Japanese Wood Species

- Against Termite Attack, , Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 113, 2002
2. Rudi Dungani: Effect of Boucherie Method Treatment on Termite Resistance of Laminated Bamboo Surat, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 122, 2002
 3. Yusuf, S. et. al.: Effects of Steaming Treatment of Indonesian Wood on Termite Feeding Behavior, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 123-127, 2002
 4. Yusuf, S. et. al.: Physical and Biological Properties of Phenolic-Resin Treated Particleboard after Exposed to Outdoor Wethering, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 139-144, 2002
 5. Muin, M. and Tsunoda K.: Profile and Effect of Process Parameters in the Preservative Treatment of Wood-Based Composites using Supercritical Carbene Dioxide, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 145, 2002
 6. Furukawa, I. and Kobayashi, T.: Saftey and Durability of Newly Developed Chitosan-Copper-Complex (CCC) and its Effectiveness to Fungal and Termite Attacks, Proceedings of the 4th International Wood Science Symposium, 146-149, 2002
 7. Furuno, T., Lin, L. and Katoh, S.: Leachability, decay, and termite resistance of wood treated with metaborates, J. Wood Science, **49** (4), 344-348, 2003
 8. Furukawa, I.: Morphological Aspects of Wood Degrading Process by Termite or Marine-borer, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 131-132, 2004
 9. Yusuf, S. et. al.: Wood Plastic Composite Resistance to *macrotermes gilvus* Termite, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 133, 2004
 10. Yusuf, S. and Doi, S.: Feeding Behavior of Subterranean Termites on Steamed Wood, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 134-139, 2004
 11. Muin, M. and Tsunoda, K.: Biological Resistance of Wood-based Composites Impregnated with a Fungicide-termiticide Mixture Formulation Using Supercritical Carbon Dioxide, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 140-144, 2004
 12. Furuno, T., Wada, F., Yusuf, S., and Kobayashi, T.: Biological Resistance of Wood Treated with Zinc and Copper Metaborates, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 163-170, 2004
 13. Doi, S.: Antitermite Property of *Artocarpus heterophyllus*--- Identification of Termite-resistant Component---, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 171-174, 2004
 14. Takematsu, Y., T. Inoue, Yupaporn Sornnuwat and Charunee Vongkaluang: Assessment of Termite Assemblages of Different Forest Types using Standardized Sampling Protocol – Comparison between Disturbed Forest and Undisturbed Forest, Proc. 6th Int. Wood Sci. Symp., August 29-31, 2005, Bali, Indonesia, 35.
 15. Didi Tarmadi Yusuf Amin, Arief Heru Prianto, Teguh Darmawan, Sulaeman Yusuf and Wahyu

- Dwianto: Termite Resistance of Nine Indonesian and Compression Wood, Proc. 6th Int. Wood Sci. Symp., August 29-31, 2005, Bali, Indonesia, 156-159.
16. Takeshi Furuno, Takashi Goto and Sulaeman Yusuf: Tropical Termite Resistance of Wood-Mineral Composites using the Colloidal Silica Solution System, Proc. 6th Int. Wood Sci. Symp., August 29-31, 2005, Bali, Indonesia, 2-5, 165-172.
 17. Titik Kartika, Suciati, Ikhsan Guswenrivo, Didi Tarmadi, Arief Heru Prianto and Sulaeman Yusuf: Feasibility of the Application of *Fusarium* sp. as Pathogenic Fungi to *Coptotermes* sp. Proc. 6th Int. Wood Sci. Symp., August 29-31, 2005, Bali, Indonesia, 173-177.
 18. Desyanti, Yusuf Sudo Hadi, Sulaeman Yusuf and Teguh Santoso: The Entomopathogenic Fungi from Various Host in Nature: Physiological Characterization and their Pathogenicity to Subterranean Termites, *Coptotermes* sp. Proc. 6th Int. Wood Sci. Symp., August 29-31, 2005, Bali, Indonesia, 178-184.
 19. Kawaguchi, S., T. Yoshimura, Y. Imamura, M. Miura, Y. Yanase, Y. Fujii, S. Okumura and K. Suzuki: Energy Gas Production from Wood Biomasses by Termites -A preliminary result-, Proc. 6th Int. Wood Sci. Symp., Bali, Indonesia, Aug. 29-31, 2005, 198-203.
- Furuno, T., T. Goto, and Sulaeman Yusuf: Tropical termite resistance of wood-mineral composites using the colloidal silica solution system, Proc. 6th Int. Wood Sci. Symp., Bali, Indonesia, Aug. 29-31, 2005, 165-172
20. Furuno, T., F. Wada, and Sulaeman Yusuf: Biological resistance of wood treated with zinc and copper metabolites. *Holzforschung*, 60 (1), 104-109 (2006).

熱帯産木材からの構造用 LVL の開発とその住宅構造部材としての性能評価

Development of Structural LVL from Tropical Wood and Evaluation of their Performance for the Structural Components of Wooden Houses

研究期間：平成 14 年度～平成 17 年度

* 小松 幸平	京大大学生存圏研究所
森 拓郎	京大大学生存圏研究所
瀧野 眞二郎	京大大学生存圏研究所
安藤 直人	東京大学大学院農学生命科学研究科
関野 登	岩手大学農学部農林環境科学科
* Sutadji YUWASDIKI	Research Institute for Human Settlements
Yakni IDRIS	Sriwijaya University
Anita FIRMANTI	Research Institute for Human Settlements
Bambang SUBIYANTO	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Maryoko HADI	Research Institute for Human Settlements

研究の目的

マレーシアやインドネシア・カリマンタン等ではこれまでその豊富な木材資源を利用して、合板の製造が盛んに行われてきた。しかし、合板の原木として針葉樹の利用が益々盛んになってきた今日では、マレーシアやインドネシアにおける合板工場の生産品目として、合板から新しく LVL に転換しようという動きが見られる。LVL 製造技術に関しては北欧の高度に発達した技術をそのまま利用するとしても、熱帯産木材を原材料とした LVL の基本的性質や、製造された LVL の用途適性については、全く研究されていない。そこで、本研究では熱帯産木材で製造された LVL の基本的性質を実験的に明らかにすると同時に、その用途として期待できる木造軸組構法住宅の柱、梁としての性能特性の把握、耐力壁や床となった場合の構造性能について実験的、解析的検討を加える。

期待される成果

これまで主として合板製造に携わってきたマレーシア、インドネシアの木材工業の分野に、新たに LVL 製造分野が加わることにより、これらの国々における木材産業の新たな製造メニューが増加して、需要に応じた幅広い製品の供給が可能となる。また、強度的性能が安定している LVL による住宅構造の開発が期待される。

研究成果

平成14年においては、マレーシア産ゴムの木で製造された LVL ならびにスギ LVL について、タッピング法による動的弾性定数の測定と静的曲げ試験法による静的ヤング係数と曲げ破壊係数を測定し、樹種の違いによる曲げ性能の違いを比較検討した。

平成15年においては、硬い性質のゴムと柔らかい性質のファルカタを交互に積層した異樹種構成 LVL の断面 45mm×90mm の軸材料だけを利用したスパン 4.5m の屋根トラスをボルト接合によって組立て、その鉛直加力実験を実施した。トラスはボルト接合特有の粘り強い性質を発揮した。また、ボルト接合部のせん断実験から得られた荷重—すべり関係式を非線形有限要素法に適用することによって、初期剛性から終局状態に至るまで、精度よく変形挙動を推定することができた。更に同年、この異樹種 LVL の面外曲げ実験、面内せん断実験、釘打ち性能実験を行い、新しく開発された異樹種 LVL の床用面材としての構造設計データが集積された。

平成16年においては、上記異樹種 LVB（面材として利用する場合は LVB と称する）を面材とする住宅用床組について実大実験を行い、日本の品確法に照らして床としての性能を評価した。その結果、ゴム・ファルカタ異樹種 LVB を面材とし、N75 釘で4辺を釘打ちした床組は、床倍率3以上の性能を発揮し、日本市場においても、住宅用剛床を構成する面材として十分使えることが明らかとなった。

平成17年度においては以下の成果を達成した。

① 異樹種 LVB の建築用構造部材としての総合評価

現在、構造用面材として我が国で広く利用されているカラマツ厚物合板、ラジアタパイン厚物合板をコントロール材料として、ゴム・ファルカタ異樹種 LVL の曲げ、圧縮、せん断性能、釘接合性能、ボルト接合性能、床構面の水平せん断耐力を比較した。**表1**に3種類の構造用厚物面材の曲げ強度の比較を、**表2**に3種類の構造用厚物面材を釘打ちした床構面の水平せん断性能の比較を示す。

表1 3種類の構造用厚物面材の曲げ強度の比較

試験体	(N/mm ²)	E _{L0}	E _{L90}	MOR ₀	MOR ₉₀
ファルカタ+ゴム異樹種 LVB (13ply, 28mm)	mean	6268	3947	36.8	24.8
	std. Dev.	253	117	6.6	1.0
	C.V. (%)	4.0	3.0	18.0	4.2
カラ松構造用合板 (11ply, 28mm)	mean	8621	3581	40.4	18.9
	std. Dev.	709	104	2.9	2.1
	C.V. (%)	8.2	2.9	7.1	11.1
ラジアタパイン構造用合板 (7ply, 28mm)	mean	7558	3280	31.8	17.7
	std. Dev.	658	426	0.7	4.8
	C.V. (%)	8.7	13.0	2.1	27.4

これらの結果から、ゴム・ファルカタ異樹種 LVL（いずれも厚さ 28mm）は、カラマツやラジアタパイン合板と比べても、遜色のない、あるいはそれらをしのぐ優れた力学的性能を発揮し、床構面や屋根構面用の構造用面材として十分に利用可能であることが分かった。

表2 3種類の厚物面材の床組の床倍率を示す。

面材の種類	許容耐力 P0 (kN)	床倍率
異樹種 LVL	13.24	3.71
カラマツ合板	12.44	3.49
ラジアタパイン合板	13.20	3.70

② 異樹種 LVB の耐久性確認実験

インドネシアのチビノンにあるバイオマテリアル研究開発センターと、日本側研究協力者であるユニウッドコーポレーションとの共同開発による「防腐・防蟻薬剤を接着剤に混入させて異樹種 LVL を製造する」という研究によって、インドネシアで試作された LVL の防蟻、並びに防腐効力試験を日本で実施した。防蟻効力試験の結果、通常の対象材料であるアカマツよりも蟻による食害は少ないことは認められたが、JIS をクリアーするには至らなかった。また、接着耐久性にも問題点が見いだされた。

オオウズラタケとカワラタケを用いた防腐効力試験の結果、対象材料であるスギ無処理材よりは防腐効力があつたことは認められた。しかし、JIS をクリアーすることは出来なかった。以上の結果より、接着方法もしくは接着剤の再選択と製造方法の再検討が必要であるとの結論に達した。

接着剤に薬剤を混入させ、常温で接着硬化させて、自然に LVL 全体に薬剤が浸透していくことを狙った今回の試みは、十分な成果が得られなかったが、幾つかの改善すべきポイントが分かったことで、今後に繋がる可能性は残されていると考えている。

以上のように、当初造作用用途に開発されたゴム・ファルカタ異樹種 LVL もしくは LVB が、住宅用構造部材としても十分利用可能な強度性能を有することが明らかとなり、樹液生産の終了したゴムの木の再利用化、並びに熱帯産早生樹種の一つであるファルカタの高付加価値利用法の一つとして、今後の構造材料としての需要の増加が期待される。本プロジェクト研究は力学的な面において大きな成果を上げ、熱帯地域で植林された早生樹の資源循環型有効利用法の一つが確立された。

なお、本プロジェクトを遂行するにあたり、ユニウッドコーポレーションに様々な面でお世話になった。本紙面をお借りして謝意を表するものである。

今後の波及効果

ゴム樹液の生産が終了したゴムの木は、単独で使用すると、乾燥後の「あばれ」が大きく、破壊性状が脆性的で構造信頼性は低い。また、早生樹種のファルカタは、我が国ではキリの代替材として利用される程比重が低く、強度的性質は期待できないので、その単独使用の用途としては造作的利用に限られていた。

今回の共同研究の結果、この力学的性能の全く異なる2つの南洋材を交互に積層して異

樹種 LVL もしくは LVB とすることによって、我が国のカラマツ合板と我が国に輸入されているラジアタパイン合板の中間的な性能を発揮する、非常に優れた構造性能を有する LVL もしくは LVB の商品化に成功した。

単独での利用では構造信頼性に乏しかった個々の樹種を、積層接着することによって、構造信頼性の高いエンジニアードウッドを生み出すことができた。この事は、これまで相対的に付加価値の低かった 1 次製品の生産が主体であったインドネシア、マレーシアの木材産業に対し、自国に産する木材資源からエンジニアードウッドという付加価値の高い木材製品の生産が可能であることを示唆しており、両国の木材産業の更なる発展に寄与するものと考えられる。

研究業績

1. Kohei Komatsu, Yakni Idris, Sutadji Yuwasdiki, Bambang Subiyanto and Anita Firmanti :
“Development of Structural LVL from Tropical Wood and Evaluation of Their Performance for the Structural Components of Wooden Houses Part-1. Application of Tropical LVL to a Roof Truss”, Proceedings of the International Council for Research and Innovation in Building and Construction, Working Commission W18-Timber Structures, CIB-W18/37-12-2, Edinburgh, UK, 2004
2. Kohei Komatsu, Yakni Idris, Sutadji Yuwasdiki, Bambang Subiyanto, Anita Firmanti and Kuniharu Yokoo: "Development of Structural LVL from Tropical Wood and Evaluation of their Performance for the Structural Components of Wooden Houses Part-1. Application of Tropical LVL to a Roof Truss", Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 41-46, 2004
3. Yakni Idris, Bambang Subiyanto, Sutadji Yuwasdiki, Kohei Komatsu and Shinjiro Takino :
"In-plane Shear Cyclic Load Testing for Shear Resistance of LVB Floor Panels Nailed to Wood Frame Floor Systems", Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 354-355, 2004
4. Kohei Komatsu, Yakni Idris, Sutadji Yuwasdiki, Bambang Subiyanto, Anita Firmanti and Kuniharu Yokoo : "Development of Structural LVL from Tropical Wood and Evaluation of their Performance for the Structural Components of Wooden Houses Part-1. Application of Tropical LVL to a Roof Truss", Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 17 September, Kyoto, 2004.
5. Maryoko Hadi, Bambang Subiyanto, Anita Firmanti, Kohei Komatsu and Sutadji Yuwasdiki :
"Application of Some Mechanical Fasteners on Laminated Veneer Lumber (LVL) Rafter Joints", Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 17 September, Kyoto, 2004.
6. Yakni Idris, Bambang Subiyanto, Sutadji Yuwasdiki, Kohei Komatsu and Shinjiro Takino :
"In-plane Shear Cyclic Load Testing for Shear Resistance of LVB Floor Panels Nailed to Wood

- Frame Floor Systems", Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 17 September, Kyoto, 2004.
7. Shinjiro Takino, Kohei Komatsu, Yakni Idris, Bambang Subiyanto and Sutadji Yuwasdiki : "Shear Resistance of Thick Floor Panels Nailed to Wood Frame Floor Systems", Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, 30 August, Bali, 2005.
 8. Maryoko Hadi, Bambang Subiyanto, Anita Firmanti, Kohei Komatsu, and Sutadji Yuwasdiki: "Beam-Column Joint of *Acacia mangium-Albizia falcataria* Glulam with Bolt Fasteners", Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, 30 August, Bali, 2005.
 9. Sutadji Yuwasdiki, Kohei Komatsu, Bambang Subiyanto, Anita Firmanti and Maryoko Hadi : Studies on LVL Processed Wood for Structure of Construction Building, Proceedings of 6th International Wood Science Symposium , Bali, August, 2005.
 10. Kohei Komatsu, Yakni Idris, Ee-Ding Wong, Shinjiro Takino, Takuro Mori¹, Sutadji Yuwasdiki, Anita Firmanti, Bambang Subiyanto, Maryoko Hadi and Kuniharu Yokoo : Utilization of *Falcataria* and Rubber Wood Mixed Species Laminated Veneer Lumber (LVL) or Laminated Veneer Board (LVB) to Structural Components of Wooden Houses, International Workshop on Timber Structures "The Utilization of Low Density Timber as Structural Materials" Bandung, Indonesia, 15-16th , November, 2005.
 11. Maryoko Hadi, Bambang Subiyanto, Anita Firmanti and Kohei Komatsu : "Beam-Column Joint of *Acacia Mangium-Albizia Falcataria* Glulam with Bamboo Dowel Fasteners", Proceedings of the IAWPS2005 (International Symposium on Wood Science and Technologies), CD-ROM, 4O24-3A1330, Yokohama, November 29, 2005.
 12. Yakni Idris and Kohei Komatsu : "Lateral Shear Test of Singly and Doubly Braced Wood Shear Walls", Proceedings of the IAWPS2005 (International Symposium on Wood Science and Technologies), CD-ROM, 4O24-3A1330, Yokohama, November 29, 2005.

アカシアマンギウムの総合的利用

Total Utilization of Acacia mangium

研究期間：平成14年度～平成17年度

*矢野 浩之	京大大学生存圏研究所
川井 秀一	京大大学生存圏研究所
塩谷 雅人	京大大学生存圏研究所
林 和男	愛媛大学農学部

*SUBYAKTO	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Y. S. SETYOHARJONO	Gadjah Mada University
Cicilia M. E. SUSANTI	The State University of Papua
Bambang SUBIYANTO	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Anita FIRMANTI	Research Institute for Human Settlements

研究の目的

アカシアマンギウムは、東南アジア一帯で広く植林されている早生樹である。中でも、インドネシアでは、パルプ用原料として100万haにおよぶ植林が行われているが、インドネシアにおける建築用材の現状を考えると、今後は、建築用途への積極的な転換が強く求められる。そのためには、アカシアマンギウムの利用においてさらなる付加価値をつけることが必要である。

最近、共同研究者の矢野、Susantiらは、アカシアマンギウムの樹皮には、重量にして50%以上ものタンニンが含まれており、樹皮粉末に少量のホルムアルデヒドを添加するだけで、フェノール樹脂相当の高耐久接着剤に変換できることを見いだした。さらに、予備的調査で、胸高直径20-30cmの植林木について、木材の50%を適切な乾燥およびグレーディングにより製材品として利用できれば、残りの木材および枝と樹皮粉末接着剤だけで高耐久木質ボード類をゼロエミッション的に製造する出来ることが示されている。

本プロジェクトでは、これまでの予備的検討を基に、乾燥、グレーディング、接着剤、木質材料といった異なる専門のインドネシアおよび日本の研究者が、樹皮接着剤をキーテクノロジーとしたアカシアマンギウムの総合的利用について共同で取り組む。本プロジェクトによって、総合的利用のための最適要素技術が明らかになり、それは、アカシアマンギウムの建築用途への積極的転換、植林地の持続的経営のための重要な指針となる。

研究成果

① アカシア樹皮の利用技術の確立と粉末製造・販売会社の設立

アカシアマンギウムの樹皮には多くのタンニン（レゾルシノール型）が含まれている。

我々は、その外樹皮を粉砕し機械的に篩うと、粒径 $63\mu\text{m}$ 以下に縮合型タンニンを 50～60% も含む微粉末を 50% 近い収率で集められることを見いだした。このことから、樹皮粉末の工業的利用を目指し、樹皮タンニンの樹幹内における量的分布や樹皮乾燥条件とタンニンの活性の変化について明らかにした。その結果、微粉末はホルムアルデヒド水溶液やフェノール樹脂と混合すると、高耐久性合板用の接着剤として利用できること、また、樹皮粉末とホルムアルデヒドとの反応性は長期にわたり安定していること、等を明らかにした。これらの成果を受けて、タンニン高含有アカシア樹皮粉末の製造・販売を目的とした会社、「コシイウッドソリューションズ」が 2004 年 4 月に大阪に設立された。現在、同社は、LIPI、生物材料ユニットの技術指導に基づき設立された、樹皮の仕入れ・チップ化を専門に行うインドネシアの会社「PT.Imago Citra Abadi」から、乾燥樹皮チップを輸入し、日本で粉砕・篩い分けを行い、接着剤メーカーを通じて、販売している。主な納入先は、合板メーカー、化粧合板メーカーである。インドネシアに設立された樹皮会社は、ボルネオ島に散在する何カ所かのアカシヤマンギウム人工造林において、地元民から樹皮を購入するとともに、天日乾燥、チップ化作業に係る雇用を創出し、地元民の生活向上に大きく貢献している。

その他本プロジェクトの代表的な成果として、

- ② 低温除湿乾燥により、材色変化を抑制しながら省エネルギー的に製材品を乾燥できることを見いだした。
- ③ 製材品について、非破壊的に強度を推測する方法を検討し、非破壊的に求めた弾性率が、製材品の強度特性の有効な指標となることを明らかにした。
- ④ 枝および樹皮粉末を原料にパーティクルボードを製造し、性能を評価した。

さらに、平成 15 年 10 月に木質科学研究所において開催されたアカシヤマンギウム国際シンポジウムにおいて、アカシヤマンギウムはインドネシアのみならず東南アジア諸国一帯において極めて重要な持続型森林資源であり、有効な二酸化炭素の固定源として、その社会的重要性は今後さらに高まることが示されたことから、本プロジェクトでは熱帯地域の生活圏、森林圏、大気圏における木質の循環に関し、炭素循環を中心にした物質フローから、熱帯早生樹の持続的・循環的利用と地域環境保全の調和を図る方途を探ることにした。すなわち、スマトラ島パレンバン近郊にある 19 万 ha のアカシヤマンギウム大規模産業造林地をケーススタディの場とし、生活圏を中心としたこれまでのプロジェクト研究者に、大気圏の物質フローを専門とする宙空電波科学研究センターの研究者を加え、日本側研究者が植林地に赴き、インドネシア側研究者と植林地近傍の大気状態と森林状況との関係、そこから生産される木材をゼロエミッション的に総合利用するための物質フロー調査の可能性について議論するとともに、GPS データと衛星データとの対応による林地状況の把握を試みた。

以上に述べたように、本プロジェクトでは、インドネシア、日本の両国が関係したアカシヤマンギウム樹皮の工業的利用を実現するとともに、木質資源の有効利用について、

生活圏と森林圏、さらには大気圏を俯瞰的かつ統合的に結んだ木質炭素循環解析が重要であることを指摘した。

研究業績

1. S. Ogawa, C.M. E. Susanti and H. Yano: Direct utilization of Acacia mangium bark as water proof wood adhesives, Proceedings of the 4rth International Wood Science Symposium, 182-187, 2002
2. 矢野浩之、川井秀一、小川壮介、稲井淳文、本馬洋子、山内秀文、那須英雄、山崎道人、矢田元一: タンニン高含有アカシア樹皮粉末の製造と接着剤への応用、木材工業、60(10), 478-482(2005)
3. E. Tanaka, A. firmanti, S.Kawai, A Case Study on the CarbonFlow Analysis in Large-scale Plantation Forest of Acacia mangium, Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, 448, 2005
4. M. Gopar, I. Budiman, Subyakto, B. Subiyanto, Particleboard from Acacia mangium Bark -Effects of resin type and ampunt of wax emulsion on the board properties, Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, 450, 2005
5. A. Firmanti and S. Kawai, A Series of Studies on the Utilization of Acacia mangium Timber as Structural Materials, Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, 463, 2005

インドネシア産薬用植物および銘木由来の新規生理活性物質の

検索

Investigation of the novel physiologically active substances originated from medicinal plants and fancy woods in Indonesia

研究期間：平成14年度～平成17年度

* 萩山 紘一	山形大学農学部
高橋 孝悦	山形大学農学部
今村 祐嗣	京都大学生存圏研究所
近藤 隆一郎	九州大学大学院農学研究院
片山 健至	香川大学農学部
鈴木 利貞	香川大学農学部
光永 徹	岐阜大学応用生物科学部
* Wasrin SYAFII	Bogor Agricultural University
Nyoman J. WISTARA	Bogor Agricultural University
Deded Sarip NAWAWI	Bogor Agricultural University
Rita Kartika SARI	Bogor Agricultural University
Kurnia SOFYAN	Bogor Agricultural University
Sipon MULADI	Mulawarman University
Irawan Wijaya KUSUMA	Mulawarman University
Zainul ARIFIN	Mulawarman University
Agus Dulistyو BUDI	Mulawarman University

研究の目的

世界の各地で森林資源、特に樹木や草本植物由来の抽出物の薬用素材としての価値が再認識されつつある。その活性本体については、未だ十分な知見が得られていないものも多く、場合によっては逆に利用者に有害なものも少なくない。本プロジェクトはインドネシア産の伝統薬用植物ならびに銘木類を調査し、その抽出物の単離、同定ならびに生理および生物活性検定を行い、森林資源利用における障害を防除するとともに有用な新規な生理活性あるいは生物活性成分を探索し、高度有効利用をはかることを目的とする。

研究成果

① インドネシア産銘木由来の生理活性物質の検索

インドネシア産の主要銘木試料を入手し、各種溶剤可溶成分（以下、抽出成分という）を分離した。各抽出成分は、その活性の強弱を判定するため、種々のレベルにおける生物

検定を実施した。新規天然物系農薬の発見をターゲットとした生物個体の成長阻害試験は、ブラインシュリンプ幼生致死活性をスクリーニングの指標に採用し、以下の成果を得た。すなわち、紫檀 (rosewood, *Dalbergia latifolia*) およびジャックの木 (Jack fruit tree, *Artocarpus heterophyllus*) の心材抽出物に顕著な活性が存在することを明らかにした。さらに各抽出物をクロマトグラフィーで分画・精製し、主要活性成分がネオリグナンのラテフォリン、及びプレニル・フラボノイドのアルトカルピン、シクロアルトカルピンおよびモリンなどであることを明らかにした。これらの化合物はブラインシュリンプだけでなく、シロアリや腐朽菌の成長抑制・致死にも有効なことが明らかにされた。

比較的弱い活性はチーク、黒檀、マニルカラ・カウキに見出され、原因成分を究明し、整理し表にまとめた。

② タンジュン木材 (*Mimusops elengi*)、アカール・クニン根 (*Arcangelisia flava*)、およびギンブル樹皮各抽出物の生理活性物質の検索

タンジュンの木材は天然における耐久性が高い有用木材である。アカール・クニンの根およびギンブルの樹皮は主にカリマンタンにおいて民間医薬として利用されている。これらの抽出物に含まれる主要成分を探索し、抗酸化活性および抗菌活性試験を行った。タンジュンの木材からエピカテキン、カテキン、3,4,5-トリメトキシフェノール、および 2,6-ジメトキシ-*p*-ベンゾキノン単離・同定した。エピカテキンは高い抗酸化活性と抗菌活性を示した。アカール・クニンの根は黄色であり、日本産の黄肌 (キハダ) に含まれるベルベリンのほかフィブラウリンを含み、アセトン-有機層画分を除く抽出物に抗菌性が認められた。また、粘着性のあるギンブル樹皮については、そのメタノール-有機層画分に顕著な抗酸化活性が存在することが判明した。

③ ジャックの木 (Jack fruit tree, *Artocarpus heterophyllus*) の辺材抽出物

ジャックの木から黒色メラノーマ (皮膚がん) や染み等の原因となるメラニン生合成を阻害する活性 (チロシナーゼ活性) 阻害作用を検索した。強いチロシナーゼ活性阻害作用は辺材抽出物に見出され、クロロフォリンが原因物質であることを明らかにし、その実用化を検討中である。

④ ジェンコール、ペタイ、ランブータンおよびリムス材の抗癌物質が調べられ、最も活性の高いジェンコールの成分がGC-MSでフタル酸誘導体であることが明らかにされた。

⑤ これらの情報を有効に役立てるため、既往の生物活性物質に関する情報の整理とコンピュータを利用した簡便な検索法を提供する目的で、インドネシア産の主要な薬用植物についての情報を、表として提出した。しかし、これに既往の知見や今回、新たに得られた知見を追加し、実用性のあるCD-ROM版として整理・提供する目論見は、まだ達成されていない。

研究業績

1. S. Falah, W. Syafii and T. Katayama(2004): Antitermic Activities of Extracts from the Bark of Some Tropical Hardwoods, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 181-186.
2. E.T. Arung, K. Shimizu and R. Kondo(2004): Melanin Biosynthesis Inhibitory Activity of Indonesian Plants, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 324-329.
3. K. Ogiyama, N.J. Wistara and W. Syafii(2004): Extractives Characterization of Fancy and Industrial Woods of Indonesia by Brine Shrimp Test. Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 330-335.
4. K. Shimizu, K. Yoshikawa and R. Kondo(2004): Degradation of toxic phenolic compounds by basidiomycetes (I), Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 376.
5. T. Katayama, T. Suzuki, W. Syafii, S. Miyoshi and M. Maeda(2004): Extractives of Tanjung Wood: Isolation of Phenolic Substances and Their Antioxidant and Antifungal Activities: Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 413.
6. K. Ogiyama, M.Watanabe, N.Sekine, M.Kano, N. J.Wistara, W.Syafii (2005):Investigation of Brine Shrimp Lethal and termiticidal Extractives of Jack Fruit (*Artocarpus heterophylla* LAM.) Heartwood Proceedings of the 6th International Wood Sci. Symp., "Sustainable Production and Effective Utilization of Tropical Forest Resources", LIPI - JSPS Core University Program in the Field of Wood Science, pp334~339, Bali,INDONESIA, August 29-31.
7. G. Lukmandaru, Koichi Ogiyama (2005): Bioactive Compounds from Ethyl Acetate Extract of Teakwood (*Tectona grandis* L.f.) Proceedings of the 6th International Wood Sci. Symp., "Sustainable Production and Effective Utilization of Tropical Forest Resources", LIPI - JSPS Core University Program in the Field of Wood Science, pp346~350, Bali, INDONESIA, August 29-31.
8. Koichi Ogiyama M.Watanabe, N.Sekine, G.Lukmandaru, M.Kano, H.Kuzirai, N. J.Wistara, W.Syafii (2005):Characterization of Bioactive Extracts of Fancy and Industrial Woods in Several Bioassays Proceedings of the International Symposium on Wood Science and Technology (IAWPS2005) ,Oral Presentation, pp308—309, Yokohama, JAPAN, November 27-30.
9. Ganis Lukmandaru, Koichi Ogiyama (2005):Bioactive extract of Teakwood (*Tectona grandis* L.f.) Proceedings of International Symposium on Wood Science and Technology (IAWPS2005) , Poster Presentation, pp413~414, Yokohama, JAPAN, November 27-30
10. Nobuhiro Sekine, Koichi Ogiyama (2005):The bioactive extractives of *Dalbergia latifolia* Proceedings of International Symposium on Wood Science and Technology (IAWPS2005) , Poster Presentation, pp421~422, Yokohama, JAPAN, November 27-30
11. Koichi Ogiyama, N.Sekine, G. Lukmandaru, W.Syafii, N. J.Wistara (2005) : Chemical characterization of bioactive extractives from several fancy woods Abstracts of 2005

International Chemical Congress of Pacific Basin Societies (PASIFICHEM2005), Poster Presentation, Program No.:273, Honolulu,HAWAII, December 15-20.

12. 鈴木利貞, 三好さつき, 前田真実, 片山健至, Wasrin Syafii (2004) インドネシア産木材 Tanjung Wood の抽出成分 : フェノール・キノン類の単離と抗酸化活性. 第 54 回日本木材学会大会要旨集, 660.
13. Takeshi Katayama, Mami Maeda, Toshisada Suzuki, Wasrin Syafii, Sipon Muladi (2005) Extractives of Tanjung Wood, Akar Kuning and Gimbul Wood and their antioxidant and antifungal activities. Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, LIPI-JSPS Core University Program in the Field of Wood Science, 329-333.
14. Syamsul Falah, Takeshi Katayama, Mulyaningrum (2005) Utilization of bark extractives from some tropical hardwoods as natural wood preservatives: Termitidical activities of extractives from bark of some tropical hardwoods. Proceedings of the 6th International Wood Science Symposium, LIPI-JSPS Core University Program in the Field of Wood Science, 323-328.
15. Arung,E.T., Kusuma,I.W., Iskandar,Y.M., Yasutake,S., ShimizuK., Kondo,R.(2005): Screening of Indonesian plants for tyrosinase inhibitory activity, J.Wood Sci. 51:520-525
16. E. Arung, K. Yoshikawa, K. Shimizu, and R. Kondo(2005): The effect of chlorophorin and its derivative on melanin biosynthesis, Holzforschung 59, 514-518
17. Sari,R.K., Syafii,W.,Ogiyama,K.(2005): Anticancer activity of some tropical wood extractive, International symposium on Wood Science and Technology (IAWPS2005), Proceedings (Poster presentation), pp313-314, Yokohama-Japan Nov.27-30

インドネシア産主要樹種の特性評価ならびに未利用樹種の新規用途開発

Characterization of main wood species and development of novel utilization of the unused and unvalued wood species grown in Indonesia

研究期間：平成14年度～平成17年度

* 湊 和也	京都府立大学大学院農学研究科
石丸 優	京都府立大学大学院農学研究科
飯田 生穂	京都府立大学大学院農学研究科
古田 裕三	京都府立大学大学院農学研究科
川田 俊成	京都府立大学大学院農学研究科
今村 祐嗣	京都大学生存圏研究所
* Wahyu DWIANTO	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Sulaeman YUSUF	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Yanni SUDIYANI	Research Center for Chemistry, LIPI
Lisman SURYANEGARA	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
SUDIJONO	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Dede HERMAWAN	Bogor Agricultural University

研究の目的

インドネシアを含む熱帯地方の樹種は極めて多様で、特性も多岐にわたっている。しかし、それらが特性に叶った用途に使われているかどうかについては不明な点が多い。また有効利用されていない木材資源も豊富に存在するが、特性にしたがった用途が見出せるなら、その利用価値は高まる。このような状況を踏まえ、インドネシア側のメンバーの試料および情報収集能力を背景に、日本側メンバーを中心に木材の特性評価を行い、その成果を両国における木材の新たな用途開発にフィードバックすることを目的とする。そのため、まずインドネシアにおいて、現在利用されている樹種について、利用形態とそれらが有する木材の特性値の間の相関性を明らかにする。とくに着目する特性値として、PB, MDF, LVL などの熱圧成型性、木材の乾燥加工性、建築部材としての利用などに深く関係する力学的性質（弾性、強度、粘弾性的性質、振動特性など）、保存処理等のための注入性や圧密加工性、防腐・防虫性、耐候性などを取り上げ、合目的性の観点からの評価を行う。また、未利用材ならびに早生樹種についても、同様の特性を明らかにし、より有効な用途開発のためのデータを集積する。さらに有用な特性が見出された樹種については、実用化を視野入れた用途開発を進める。その成果として、インドネシア産樹種の用途拡大、より効率的かつ高度な利用が、また未利用資源に関しては、明らかになった特性を活かした、新規の用途開発につながることを期待できる。

研究成果

平成 14, 15 年度の日本側メンバーの数回にわたる派遣ならびにインドネシア側メンバーの来日の際に、インドネシア産の樹木試料の収集を行った。その数は主要樹種、未利用樹種、早生樹種などを含め、20 余種にのぼる。これらの試料に対して、平成 14 年度には、主として木材及び木質材料の加工ならびに利用時の欠点の発生、製造工程のトラブル、新規用途の開発などと密接に関係する、木材繊維直角方向の弾性・強度的性質の温度、含水率による変化を測定することにより、日本産材と熱帯産材の弾性・強度的性質（弾性率、曲げ強度、破壊たわみなど）ならびにそれらの温度・含水率による変化の違いを明らかにした。この成果は *J. Wood Sci.* に投稿し、すでに発行されている。また、その一部は平成 15 年 10 月の *Int. Symposium on Sustainable Utilization of Acacia mangium* でも報告した。平成 15 年度には、熱帯産材の粘弾性的性質、その温度・含水率による変化を応力緩和測定で行うとともに、これに加えて、同一供試樹種の木材構成成分の化学分析、振動特性の測定などを行った。平成 16 年度には、前年度の研究を継続して行うとともに、耐候性試験を開始した。平成 17 年度には耐候性試験の評価と、これまでに得られたデータの取りまとめ作業を行っている。

現在、実験に関しては、当初計画した項目の大半を終了しているが、耐候性評価に関しては一部、未了となっている。これに関しては、屋外暴露試験を行った試料について、耐候性の視点からだけでなく、一種の枯らし（エージング）の効果の面からも評価するため、その効果が比較的明瞭に現れる、動的粘弾性試験を進めている。

今後は、これまで実施してきた、20 数種のインドネシア産材の諸特性を、相互に関連づけた考察を行って、最終的には、本来の課題である用途適性に関して、得られた知見を元に、データの公表を通じて、所期の目的である、用途適性に関する提案を行っていく予定である。

研究業績

1. Wahyu Dwianto, Sudijono, Ikuho Iida, Subyakto, Sulaeman Yusuf: Mechanical Properties, Fire Performance and Termite Resistance of Acacia Mangium Willd, Proceedings of the International Symposium on Sustainable Utilization of Acacia mangium, pp. 128-139 (2003)
2. Sudijono, W. Dwianto, S. Yusuf, I. Iida, Y. Furuta and K. Minato: Characterization of major, unused, and unvalued Indonesian wood species I: Dependencies of mechanical properties in transverse direction on the changes of moisture content and/or temperature, *J. Wood Science*, 50, 371-374 (2004)
3. Zhao Youke, Ikuho Iida, Lu Jianxiong, Yan Haopeng: Dynamic Observation of Liquid Penetration into Chinese Fir and Poplar, Proceedings of 9th Wood Science Branch Symposium of China Forestry Society, pp.106-111 (2004)

4. Chika Takahashi, Yutaka Ishimaru, Ikuho Iida, Yuzo Furuta: The creep of wood destabilized by change in moisture content. Part 1 The creep behaviors of wood during and immediately after drying, *Holzforschung*, 58, p.261-267 (2004)
5. Shin-ichiro Iwamoto, Kazuya Minato: Influences of moisture content on the catalysis of sulfur dioxide and attainable properties in a vapor-phase treatment of wood with formaldehyde, *J. Wood Sci.*, 51, 141-147 (2005)
6. 湊 和也, 伊東祐子, 菅原はるか: キリ材 (*Paulownia tomentosa*) の伝統的用途における合目的性, *材料学会誌*, 54, 361- 364 (2005)
7. Yu Zhou, Ikuho Iida, Kazuya Minato, Hiroshi Kurosu: Adsorptive properties of dyes to cellulosic sheet and discoloration of dye solution by UV-ray irradiation, *Forestry Studies in China*, 7(2), 19-25 (2005)
8. Kazuya Minato, Tamaki Morita: Blackening of *Diospyros* genus xylem in connection with boron content, *J. Wood Sci.*, 51, 601-606 (2005)
9. Yoriko Iwamoto, Takafumi Itoh, Kazuya Minato: Vapor phase reaction of wood with maleic anhydride (II) Mechanism of dimensional stabilization, *J. Wood Sci.*, 51, 659-662 (2005)
10. Wahyu Dwianto, Sudijono, Sulaeman Yusuf, Ikuho Iida and Kazuya Minato, Relationship between Chemical Composition and Static Bending Properties of Indonesian Wood Species in Softening Conditions: Proceedings of the International Symposium on Wood Sci. and Technol, Yokohama, vol. 1, pp. 99 (2005)
11. Yanni Sudiyani, Wahyu Dwianto, Kazuya Minato: Physical Characteristics of Compressed Wood after Exposed to Artificial Weathering, Proceedings of the International Symposium on Wood Sci. and Technol, Yokohama, vol .2, pp. 49 (2005)
12. Yuko Kawata, Toshinari Kawada, Kazuya Minato: Affecting factors on recovery of shrinkage in dried waterlogged wood, Proceedings of the 6th international wood science symposium, Bali, Indonesia, pp.22 (2005)
13. Sulaeman Yusuf, Wahyu Dwianto, Sudijono, Yusuke Kawato, Ikuho Iida, Kazuya Minato: Characterization of fifteen Indonesian wood species from the physical, mechanical and chemical aspects, Proceedings of the 6th international wood science symposium, Bali, Indonesia, 2005, pp.98-102 (2005)
14. Chika Takahashi, Yutaka Ishimaru, Ikuho Iida and Yuzo Furuta: The creep of wood destabilized by change in moisture content. Part 2 The creep behaviors of wood during and immediately after adsorption: *Holzforschung*, 59, p.46-53 (2005)
15. 大井健介, 王悦, 朝田鉄平, 飯田生穂, 古田裕三, 石丸優: 温度の急上昇, 急下降による不安定状態下の木材物性の変化: *木材学会誌*, 51, 1-7 (2005)
16. 飯田生穂, 大井健介, 朝田鉄平, 王悦, 古田裕三, 石丸優: 木材の力学的性質に及ぼす温度履歴の影響－II, *木材学会誌*, (印刷中)

17. 王悦, 飯田生穂, 古田裕三, 石丸優: 温度変化に起因する不安定状態下の木材の力学物性とその機構解明 (第1報) —急冷処理した膨潤木材の応力緩和挙動— 木材学会誌 (印刷中)
18. 王悦, 湊和也, 飯田生穂: 温度変化に起因する不安定状態下の木材の力学物性とその機構解明 (第2報) 力学試験のためのブロック試験片からの化学成分の選択的均一除去法, 木材学会誌 (印刷中)

熱帯早生樹の組織培養と分子育種

Tissue culture and molecular breeding of fast-growing tropical trees

研究期間：平成15年度～平成17年度

* 吉澤 伸夫	宇都宮大学農学部
横田 信三	宇都宮大学農学部
林 隆久	京都大学生存圏研究所
梅澤 俊明	京都大学生存圏研究所
馬場 啓一	京都大学生存圏研究所
山本 浩之	名古屋大学大学院生命農学研究科
古野 毅	島根大学総合理工学部
加藤 定信	島根大学総合理工学部
船田 良	東京農工大学農学部

* Nurul SUMIASRI	Research Center for Biotechnology, LIPI
Dody PRIADI	Research Center for Biotechnology, LIPI
N. Sri HARTATI	Research Center for Biotechnology, LIPI
Enny SUDARMONOWATI	Research Center for Biotechnology, LIPI
Nor Aini Ab SHUKOR	Universiti Putra Malaysia

研究の目的

我が国では、組換え樹木を野外で栽培することは国の法律によって禁じられている。すなわち、環境アセスメント等の調査が必要であるからである。しかしながら、我が国には、樹木用の野外試験場が無いために調査を行うこともできないのが現状である。それに対して、インドネシアでは、ある一定期間、閉鎖型のグリーンハウスで栽培して環境アセスメントを調査すれば、実験圃場で野外試験を行うことができるようになっている。そこで、日本で開発したキシログルカナーゼ及びセルラーゼ遺伝子を用いてアカシアマンギウム (*Acacia mangium*) とセンゴン (*Paraserianthes falcataria*) の形質転換体をバイオテクノロジーセンターで栽培し、環境アセスメントの調査を行う。形質転換体の材の成長量・セルロース密度・あて材形成・成長応力の測定も行う。同時に、熱帯早生樹 (アカシアマンギウム、センゴン、ニアトウなど) の組織培養による *in vitro* マイクロプロパゲーション及び熱帯産針葉樹木に含まれるモノテルペン類の遺伝子解析を行う。これにより、我が国で進められている樹木における分子育種の研究を海外で早期に開発し、炭素の理想循環を基盤にした産業の発展に寄与できるようになる。

研究成果

セルラーゼおよびキシログルカナーゼ遺伝子の形質転換体アカシアマンギウムを作出し

た。形質転換体の作成には、アグロバクテリウム法を用いた。それぞれカナマイシン耐性培地でスクリーニングし、計 10 個体得た。さらに、セルラーゼおよびキシログルカナナーゼ遺伝子の形質転換体センゴンも作出した。得られた形質転換体はそれぞれ 10 個体で、現在まで順調に生育している。インドネシアにおいては、形質転換体の維持、増殖のために、幼植物体の順化条件を検討した。マンギウムで 90%、センゴンで 94%の順化率が得られた。植物体は順化後も良好な成長を示している。さらに、日本側で導入されたカルスは順調に成長している。

リーフディスク法によって作出した形質転換体マンギウムについて、キシログルカナナーゼの構成発現をタンパク質レベルで解析した。抗体によるウェスタンブロットでシグナルの検出を確認した。しかしながら、酵素活性は、1.5 ~ 2.5 倍くらいにまでしか増加しなかった。このことから、このマンギウムは、野生株と形質転換体のキメラ細胞によって構成されていることが推察された。

インドネシア科学院 LIPI の Sri Hartati 研究員が、マンギウムの種子を持ち寄り、京大大学生存圏研究所で形質転換実験を行った。種子を胚と胚珠に無菌的に分別し、一定期間（3 日、1 週間、2 週間、3 週間）培養した。培養された胚と胚珠にアグロバクテリウムを感染させた。アグロバクテリウムには、バイナリーベクターが導入されており、感染された植物体はキシログルカナナーゼを構成発現する。キシログルカナナーゼは、ヘミセルロース性糖鎖キシログルカンの 1, 4- β -グルカン骨格を加水分解する分解酵素である。約 2000 の胚と胚珠を処理し、カナマイシン存在下、植換えながら、インドネシアと日本でスクリーニングを続けている。

また、インドネシアにおけるリフォレステーションの一樹種として注目されているセンゴン (*P. falcataria*) の組織培養による大量増殖を行った。実生から得られた子葉をピクロラム 4.1 μ M およびディカンバ 9 μ M を含む MS 培地で培養したとき効果的にカルスが誘導された。現在、アカシアマンギウムとセンゴンについて、プロトプラストの単離・培養条件およびカルスからの幼植物体の誘導条件を検討している。

一方、熱帯針葉樹のモノテルペン成分の遺伝子解析では、Serpong 植物園に生育する *Agathis dammara*, *Araucaria excelsa*, *Pinus merkusii*, *Podocarpus neriifolius*, *Podocarpus rumphii* の針葉を採取し、それらの針葉から放散されるヘッドスペース成分をガスクロマトグラフにより分析したところ、*Agathis dammara* にはモノテルペン成分である myrcene および limonene が含まれ、*Pinus merkusii* には、 α -pinene, 3-carene をはじめとした 8 種類のモノテルペン成分が含まれていることが推定された。*Podocarpus neriifolius* および *Podocarpus rumphii* にはわずかながら α -pinene と推定される成分が含まれていた。*Araucaria excelsa* からモノテルペン成分は検出されなかった。*Agathis dammara* および *Pinus merkusii* には比較的多量のモノテルペン成分が含まれていると思われる。モノテルペン成分組成には、多くの樹種において多様な個体差が存在するため、これらの樹種においてもモノテルペン組成における個体差を調査する必要がある。

熱帯林の再生は重要な課題であり、植林された早生樹種の成長や材質特性を把握し、有効利用するために、アカシアマンギウムの材質指標の樹幹内変動を解析した。道管要素長は、髄からの距離よりも形成層齢に依存して変化し、木部繊維長は、形成層齢よりも髄からの距離に依存していた。肥大成長の程度が木部繊維長の増加に影響を与えていることから、アカシアマンギウムにおいて、肥大成長の促進は、基礎材質指標に負の影響を及ぼさないことが明らかになった。加えて、センゴン2品種（ソロモン原産種7年生、従来種8年生）の材質に関するフィールド調査を行った。様々な直径を有するものを各品種につき50個体選び、胸高部位における表面成長応力（解放ひずみ）を測定した。その結果、表面成長応力の大きさは直径（肥大成長速度）の大きさにかかわらず一定となった。なお、木部繊維長などの基礎材質指標の樹幹内変動をも解析した。アカシアマンギウム同様、木部繊維長は、形成層齢よりも髄からの距離に依存していた。以上の成果をも参考にして、さらに、優良形質を持った熱帯早生樹の分子育種を展開することによって、地球レベルでの理想的な炭素循環の維持、促進が期待できる。

研究業績

1. N. Sumiasri, D. Priadi, N. Sri H., E. Sudarmonowati, N. Yoshizawa, T. Hayashi and S. Yokota: In vitro regeneration and genetic engineering of mangium (*Acacia mangium* Wild) and sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) and nyatoh(*Palaquium hexandrum* Burk). Proc. of Workshop and Expose: Fundamental Research Scientific Result of Indonesia-Japan Cooperation Program (LIPI-JSPS), 125, 2003
2. N. Sumiasri and D. Pridai: The genetic resources of mangium (*Acacia mangium* Wild) in Indonesia: Its development and problems, Proceedings of the International Symposium on Sustainable Utilization of Acasia mungium, 48-54, 2003
3. Y. Sudiyani, D. Priadi and N. Sumiasri: The effects of various growth media on the performance of *Acacia mangium* seedling on in vitro culture during the acclimatization periods. Proceedings of the International Symposium on Sustainable Utilization of *Acacia mangium*, 59-63, 2003
4. N. Sumiasri and D. Priadi: Effects of medium on seed growth of sengon germinated in vitro in Indonesian. *Dinamika Pertanian. Majalah Ilmiah Ilmu-ilmu Pertanian*, Fakultas Pertanian Univ. Islam Riau. Pekanbaru, Indonesia 18, 274-282, 2003
5. E. Sudarmonowati, S. Hartati, R. Hartati, Y.W. Park and T. Hayashi: Production of transgenic *Acacia mangium* expressing cellulase gene to enhance growth. In *Sustainable Production and Effective Utilization of Tropical Forest Resources*, eds. T. Umezawa et al., 270-275, JSPS, Kyoto, 2004
6. N. Sumiasri, D. Priadi, S. Yokota and N. Yoshizawa: In vitro propagation of sengon (*Paraserianthes facataria* (L.) Nielsen). In *Sustainable Production and Effective Utilization of Tropical Forest Resources*, Eds by T. Umezawa et al. 263-269, JSPS, Kyoto, 2004

7. S. Yokota, K. Nakayama, A. Sagawa, F. Urabe, T. Ona, T. Asada and N. Yoshizawa: Possible effects of properties in polyphenol oxidases on Rooting ability of *Eucalyptus camaldulensis* cutting shoots. In: Improvement of Forest Resources for Recyclable Forest Products, Ed. by T. Ona, Springer-Verlag, Tokyo, 161-162, 2004
8. S. Katoh, D. Hyatt and R. Croteau, Altering product outcome in *Abies grandis* (-)-limonene synthase and (-)-limonene/(-)- α -pinene synthase by domain swapping and directed mutagenesis, the LIPI-JSPS Core University in the Field of Wood Science Seminar at Research and Development Unit of Biomaterials, Indonesian Institute of Sciences, Cibinong, Indonesia, August, 9, 2004
9. S. Katoh, D. Hyatt and R. Croteau: Altering product outcome in *Abies grandis* (-)-limonene synthase and (-)-limonene/(-)- α -pinene synthase by domain swapping and directed mutagenesis, Archives of Biochemistry and Biophysics, 425, 65-76, (2004)
10. S. Katoh, A. Noda and T. Furuno: Tree-to-tree and clone-to-clone variations of monoterpenes emitted from needles of hinoki (*Chamaecyparis obtusa*). J. Wood Sci., 52, 84-89 (2006)
11. Enny Sudarmonowati, Sri Hartati, Retna Hartati, Yong Woo Park, Takahisa Hayashi: Expression of cellulase gene in *Paraserianthes falcataria*, In Towards Ecology and Economy Harmonization of Tropical Forest Resources, ed. W. Dwianto, pp. 388-394, Bali, Indonesia (2005).
12. Sri Hartati, Yong Woo Park, E. Sudarmonowati, Takahisa Hayashi: Agrobacterium-mediated genetic transformation of *Acacia mangium* bearing xyloglucanase gene, In Towards Ecology and Economy Harmonization of Tropical Forest Resources, ed. W. Dwianto, pp. 395-399, Bali, Indonesia (2005).
13. 古野 毅, 原 千晴, 加藤定信, ジュート繊維とポリプロピレン繊維の混合添加による石膏パーティクルボードの性能改善, 木材工業, 60(1), 13-19, 2005.
14. Sadanobu Katoh, Tohru Furukawa, Akinori Mizuguchi, Takeshi Furuno, Individual variations in monoterpenes released from *Cryptomeria japonica* and *Pinus thunbergii* needles, J. Wood Sci., 2006, in press.
15. Zeli Que, Takeshi Furuno, Sadanobu Katoh, Yoshihiko Nishino, Evaluation of three test methods in determination of formaldehyde emission from particleboard bonded with different mole ratio in the urea-formaldehyde resin, Building and Environment, 2006, in press.
16. Zeli Que, Takeshi Furuno, Sadanobu Katoh, Yoshihiko Nishino, Effects of urea-formaldehyde resin mole ratio on the properties of particleboard, Building and Environment, 2006, in press.
17. Eizawa J., S. Yokota, S. Saito, F. Ishiguri, K. Iizuka, N. Sumiasri, N. Yoshizawa. Callus induction from various types of explants in Sengon (*Paraserianthes falcataria*). Proc. 6th IWSS, Towards Ecology and Economy Harmonization of Tropical Forest Resources. Bali, Indonesia.
18. Saito Y., S. Yokota, J. Eizawa, F. Ishiguri, K. Iizuka, N. Sumiasri, N. Yoshizawa. The influence of aril on germination rate and the shoot formation from axillary buds. Proc. 6th IWSS,

Towards Ecology and Economy Harmonization of Tropical Forest Resources. Bali, Indonesia.

19. Sumiasri N., D. Priadi, S. Yokota, N. Yoshizawa. The application of medium and growth regulators on calli induction from different explants of Mangium (*Accasia mangium* Willd) and Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen). Proc. 6th IWSS, Towards Ecology and Economy Harmonization of Tropical Forest Resources. Bali, Indonesia.
20. Yamamoto, H., Ojio, Y., Okumura, K., Yoshida, M., the late Okuyama, T., Marsoem, S.N., Sulistyono, J., Mashudi, E., Tsuchiya, M., Matsune, K., Nakamura, K., Inoue, Y. Effect of high growth rate of Sengon Solomon (*Paraserianthes falcataria*) on various xylem qualities. In Enhancement of CO₂ Sink and Wood Production through Genetic Improvement of Tropical Fast Growing Tree Species 2005 (ed. Ide, Y., Nakamura, K.), pp.51-55, Tokyo, Japan, 2005.
21. Yamamoto, H., Okuyama, T., Yoshida, M., Wahyudi, I., Ona, T. The effect of the growth rate on the surface growth stress and the residual stress in the logs of Acacia species. In International Symposium on Sustainable Utilization of Acacia mangium, pp.35-36, Uji, Japan, 2003.
22. Ojio, Y., Yamamoto, H., Yoshida, M., Marsoem, S.N., Tsuchiya, M., Matsune, K., Nakamura, K., Inoue, Y. Influence of growth rate on xylem properties of some fast-growing species. In Final program and abstract, 6th Pacific Regional Wood Anatomy Conference, pp. 83-84, Kyoto, Japan, 2005.
23. Y. W. Park, K. Baba, T. Hayashi, Y. Furuta, I. Iida, K. Sameshima, M. Arai: Promotion of cellulose accumulation by degradation of xyloglucan in poplar. Proc. 5th IWSS, Towards Ecology and Economy Harmonization of Tropical Forest Resources. Bali, Indonesia. 395-395, 2004
24. K. Baba, M. Takeuchi, Y. W. Park, B. Clair, M. Yoshida, Y. Ohmiya, T. Taniguchi, Y. Ojio, T. Kondoh, T. Okuyama, T. Hayashi: Gravitropic response of poplar stem over expressing xyloglucanase. Proc. 5th IWSS, Towards Ecology and Economy Harmonization of Tropical Forest Resources. Bali, Indonesia 394-394, 2004

未利用植物資源からのセルロース系材料とバイオマスケミカルの生産

Production of cellulosic materials and biomass chemicals from unutilized plant resources

研究期間：平成15年度～平成17年度

* 渡邊 隆司	京大大学生存圏研究所
本田 与一	京大大学生存圏研究所
渡邊 崇人	京大大学生存圏研究所
岡野 寛治	滋賀県立大学環境科学部
栞原 正章	秋田県立大学木材高度加工研究所
東 順一	京都大学大学院農学研究科
坂本 正弘	京都大学大学院農学研究科
* Bambang PRASETYA	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Muhammad SAMSURI	Ministry of Research and Technology, Indonesia
Euis HERMIATI	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Faizatul FALAH	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Myrtha KARINA	Research Center for Physics, LIPI
Tami IDIYANTI	Research Center for Chemistry, LIPI
Lucia INDRARTI	Research Center for Physics, LIPI
Rike YUDIANTI	Research Center for Physics, LIPI
Rudianto AMIRTA	Mulawarman University

研究の目的

化石資源の大量消費による資源枯渇問題や地球温暖化問題の深刻化を背景として、再生可能なバイオマスから有用物質を生産する技術開発が強く求められている。本プロジェクトでは、微生物、酵素および化学反応を用いて、有効利用されていない熱帯性植物資源からハイドロゲルなどの機能性ポリマーや有用ケミカルを生産する基礎的技術を開発する。具体的には、バガスの化学処理や糖化・発酵処理によるリグニン系ポリマー、有用糖質、エタノールの生産、ハイドロゲルを含有する植物性資源の探索と利用を研究する。また、これらのリグノセルロース系資源を生物化学的に変換するため、バガスの脱リグニン処理に適した白色腐朽菌の探索と利用、シロアリ腸内微生物由来のセルラーゼについても研究を進める。本プロジェクト研究により、未利用バイオマスから機能性ポリマーや有用ケミカルを生産する生物化学的手法が確立され、地球レベルでの資源・環境問題の解決や、新規なポリマー材料の開発に大きく寄与することが期待できる。

研究成果

バガスは代表的な未利用リグノセルロース資源であり、生物・化学的な有効利用法を開発することは、資源・環境問題や東南アジアの地域経済に寄与する。本プロジェクトはこうした目的のもとに、担子菌処理を組み入れたバガスからのアルコール発酵プロセスを研究し、リグニン分解性担子菌がバガス中のリグニンを分解して、酵母によるアルコールの生産効率を向上させることを見出した。

すなわち、インドネシア産および日本産のバガスのエタノール発酵を行い、糖化発酵の前処理として、担子菌処理と水蒸気処理の組み合わせが有効であることを示した。担子菌としては、バイオパルピング菌 *Ceriporiopsis subvermispota* の他、ヒラタケ (*Pleurotus ostreatus*) も有効であった。*P. ostreatus* の子実体を収穫した後の、廃バガス培地の糖化・発酵によりエタノールが生産されたことから、食用キノコの収穫と廃バガス培地の糖化・発酵を組み合わせる方法が、現実的なアプローチと判断された。また、バガスの担子菌処理が反芻家畜による消化性を大きく向上させることを明らかにした。

サトウキビプランテーションはインドネシアの機関産業の一つであるが、サトウキビの搾り滓であるバガスの約 1 割は未利用のまま放置されて環境汚染を招いている。バガスからのエネルギー物質生産は、未利用農産物の有効利用、地球温暖化問題、地場製糖産業、エネルギー問題に大きく貢献する。

セルロース系ハイドロゲルに関しては、*Salvia* 属と *Oscimum* 属種子からハイドロゲルを精製し、それらの化学構造を、固体高分解能 NMR、X 線回折、FT-IR、糖組成分析などにより明らかにした。これらの成果は、国際木材シンポジウム等で得られた研究成果を発表した。セルロース系ハイドロゲルは、創傷被覆材、床ずれ予防材、保湿材などの医療分野の他、化粧品、食品など広範な応用分野があり、本成果の学術、産業への展開が期待される。

研究業績

1. Amirta, R., K. Fujimori, N. Shirai, Y. Honda and T. Watanabe: Ceriporic acid C, a Hexadecenylitaconate Produced by a Lignin-degrading Fungus, *Ceriporiopsis subvermispota*, Chem. Phys. Lipids, 126, 121-131 (2003)
2. Azuma, J. and M. Sakamoto: Cellulosic Hydrocolloid System Present in Seed of Plants, Trends in Glycosci. Glycotechnol, 15, 1-14 (2003)
3. Watanabe, T., Y. Ohashi, N. Rahmawati, R. Amirta, T. Watanabe, Y. Honda and M. Kuwahara: Control of the generation of active oxygen species for selective lignin biodegradation by *Ceriporiopsis subvermispota*, Abstracts of Mie Bioforum 2003 Biotechnology of Lignocellulose Degradation and Biomass Utilization, 62-63, 2003
4. 渡辺隆司, リグニン分解性担子菌を用いた木質バイオマスの総合変換プロセス、ケミカルエンジニアリング, 48, 30-35 (2003)
5. Watanabe, T., Y. Ohashi, N. Rahmawati, R. Amirta, T. Watanabe, Y. Honda and M. Kuwahara:

- Control of the Generation of Active Oxygen Species for Selective Lignin Biodegradation by *Ceriporiopsis subvermispora*, in "Biotechnology of lignocellulose degradation and biomass utilization", Uni Publishers, Tokyo, 697-704, 2004
6. 東 順一:セルロースのぷよぷよゲル, 京都大学大学院農学研究科技術部技術職員研究集会報告書, 7, 6-19, (2004)
 7. Amirta, R., T. Tanabe, T. Watanabe, Y. Honda, K. Okano, Y. Sasaki, M. Kuwahara and T. Watanabe, Lignin Degradation of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) by White-rot Fungi for Production of Feedstuff and Bio-methane, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 307-312, 2004
 8. Syafwina, T. Watanabe, Y. Honda, M. Kuwahara and T. Watanabe: Simultaneous Saccharification and Fermentation of Oil Palm Empty Fruit Bunch Pretreated by White Rot Fungi for Ethanol Production, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 313-316, 2004
 9. Samsuri, M., B. Prasetya, E. Hermiati, T. Idiyanti, K. Okano, Syafwina, Y. Honda and T. Watanabe: Effects of Fungal Treatments on Ethanol Production from Bagasse by Simultaneous Saccharification and Fermentation, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 317-323, 2004
 10. Prasetya, B., M. Samsuri, E. Hermiati, W. Fatriasari, F. Fatah, T. Idiyanti and T. Watanabe: Utilization Potential of Biomass Residue from Mushroom Production for Chemicals, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 377, 2004
 11. Hermiati, E., B. Prasetya, M. Samsuri, T. Idiyanti, W. Fatriasari and T. Watanabe: Changes on Chemical Properties during Fungal Pretreatment of Bagasse for Ethanol, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 378, 2004
 12. Indrarti, L., J. Amuma, M. Sakamoto and R. Yudianti: Characterization and Properties of Cellulose Hydrogel from Various Kinds of Basil Plants in Indonesia, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 193-198, 2004
 13. Yudianti, R., L. Indrarti, M. Sakamoto and J. Amuma: Morphological Properties of Seed Coat of *Salvia* spp., Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 199-204, 2004
 14. Azuma, J., Y. Sakata and M. Sakamoto: Viscous Polysaccharide Present in the Leaves of Mangroves, Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 205-209, 2004
 15. Watanabe, T., N. Rahmawati, R. Amirta, Y. Ohashi, T. Watanabe, Y. Honda, K. Messner and M. Kuwahara: A Selective White rot Fungus, *Ceriporiopsis subvermispora* produces extracellular metabolites that suppress cellulose degradation by the Fenton Reaction, Proceedings of 9th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry, 85-86, 2004
 16. Indrarti L.: Production and Modification of Cellulosic Hydrogel from Basil Plants, International Newsletter Research Institute for Sustainable Humanosphere, 15, 3 (2004)

17. Amirta, R.: Study in Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, International Newsletter Research Institute for Sustainable Humanosphere, 15, 8 (2004)
18. 渡辺隆司、白色腐朽菌の生物機能を利用した木質バイオマスリファイナリー、温古知新, 41, 1-6 (2004)
19. Ohashi, Y., N. Rahamawati, Y. Kan, T. Watanabe, Y. Honda, and T. Watanabe: Control of the Fenton Reaction by Ceriporic Acid B, an Extracellular Metabolites of *Ceriporiopsis subvermispora* Possible Roles in Selective White Rot, Proceedings of International Wood Science Symposium, 72 (2005).
20. Watanabe, T., K. Okano, Y. Baba, K. Yano, R. Amirta, Syafwina, T. Tanabe, T. Watanabe and Y. Honda: Pre-treatment of Japanese Cedar Wood by White-rot Fungi for the Production of Bioethanol and a Feed for Ruminants, Proceedings of International Wood Science Symposium, 53 (2005).
21. Okano, K., Y. Iida, M. Samsuri, E. Hermiati, T. Idiyanti, B. Prasetya, and T. Watanabe: Bioconversion of Sugarcane Bagasse Into a Feed for Ruminants using White-rot Fungi, Proceedings of International Wood Science Symposium, 52 (2005).
22. Samsuri, M., B. Prasetya, E. Hermiati, T. Idiyanti, K. Okano, Syafwina, Y. Honda and T. Watanabe: Pre-treatments for Ethanol Production from Bagasse by Simultaneous Saccharification and Fermentation, Proceedings of International Wood Science Symposium, 288-294 (2005).
23. Watanabe, T., H. Nishimura, T. Ougi, S. Tsuda, Y. Kawasaki, R. Amirta, Y. Ohashi, T. Watanabe, Y. Honda and K. Messner: Functional studies of lipid-related extracellular metabolites produced by a selective white rot fungus, *Ceriporiopsis subvermispora*, Proceedings of International Wood Science Symposium,
24. Yudianti, R., L. Indrarti, J. Azuma and M. Sakamoto: Cellulose-hemicellulose present in Hydrocolloids from *Salvia* spp., Proceedings of International Wood Science Symposium, 273-277 (2005).
25. Indrarti, L., J. Azuma, R. Yudianti, and M. Sakamoto: Hemicellulosic polysaccharide present in the cellulosic hydrogel of oscimum seed, Proceedings of International Wood Science Symposium, 278-283 (2005).
26. Watanabe, T., H. Nishimura, T. Ougi, S. Tsuda, Y. Kawasaki, R. Amirta, Y. Ohashi, T. Watanabe, Y. Honda and K. Messner: Proceedings of International Symposium on Wood Science and Technology, 1, 298-299 (2005).
27. 渡辺隆司、植物細胞壁の精密リファイニング -生体触媒による分子変換制御技術、「木質系有機質資源の新展開」, シーエムシー出版, 68-79 (2005)
28. 渡辺隆司、選択的的白色腐朽菌による木質バイオマスの糖化・発酵前処理、「エコバイオエネルギーの最前線 -ゼロエミッション型社会を目指して、シーエムシー出版, 68-78

(2005)

29. Rahmawati, N., Y. Ohashi, T. Watanabe, Y. Honda, and T. Watanabe: Ceriporic acid B, an extracellular metabolite of *Ceriporiopsis subvermispora* suppresses the depolymerization of cellulose by the Fenton reaction, *Biomacromolecules*, 6, 2851-2856 (2005).
30. Rahmawati, N., Y. Ohashi, Y. Honda, M. Kuwahara, K. Fackler, K. Messner and T. Watanabe: Pulp bleaching by hydrogen peroxide activated with copper 2,2'-dipyridylamine and 4-aminopyridine complexes, *Chem. Eng. J.*, 112, 167-171 (2005).
31. Amirta R., T. Tanabe, T. Watanabe, Y. Honda, M. Kuwahara and T. Watanabe: Methane fermentation of Japanese cedar wood pretreated with a white rot fungus, *Ceriporiopsis subvermispora*, *J. Biotechnol.*, in press (2006).

循環型社会の構築に向けた熱帯森林資源の持続的生産・利用に関する俯瞰的研究

Sustainable production and utilization of tropical forest resources for establishment of recycling-based society

研究期間：平成15年度～平成17年度

* 梅澤 俊明	京大大学生存圏研究所
杉山 淳司	京大大学生存圏研究所
森 拓郎	京大大学生存圏研究所
師岡 敏朗	京大大学生存圏研究所
矢崎 一史	京大大学生存圏研究所
矢野 浩之	京大大学生存圏研究所
吉村 剛	京大大学生存圏研究所
渡邊 隆司	京大大学生存圏研究所
中村 卓司	京大大学生存圏研究所
三位 正洋	千葉大学園芸学部
梅村 研二	京大大学生存圏研究所
井上 雅文	東京大学アジア生物資源環境研究センター

* Bambang SUBIYANTO	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Myrtha KARINA	Research Center for Physics, LIPI
Yusuf Sudo HADI	Bogor Agricultural University
Erman MUNIR	The University of North Sumatera
Mohd. Hamami SAHRI	Universiti Putra Malaysia

研究の目的

昨今の急激な生存圏環境の悪化に鑑み、今後人類の生存基盤を存続させるためには、木質を中心とする再生可能資源に依存した、循環型・持続型社会構築が必須であることは、論を俟たない。そこで、今後の循環型社会の構築に向けて、生産、利用、廃棄のすべてにおいて、持続的・再利用的な木質利用システムの構築が全地球的に緊急の課題となっている。本研究課題では、本拠点校事業で実施された24共同研究を俯瞰的に総括するとともに、その結果を基に、熱帯森林資源の育成保全ならびに木質資源の持続的再利用システムの構築にむけての将来的な研究戦略の策定を行う。

研究成果

本研究ではまず、本拠点校事業で実施された共同研究課題の研究成果を、インドネシアおよびマレーシア側参加者とともに俯瞰的に取りまとめた。その解析結果を基に、従来の研究を東南アジア全域の熱帯木質資源の有効利用、特に森林資源の保全と木質資源の持続的

再利用システムの確立に向けた重要課題の構築を行った。これらの成果の一部は、平成16年9月に京都で開催された 5th International Wood Science Symposium、また、平成17年度バリ島で開催された 6th International Wood Science Symposium においても討論された。

その結果、熱帯地域における大規模人工造林は、CO₂ 固定効果、荒廃林地の植生回復、再生可能バイオマスの供給といった環境・資源への貢献が大きいものの、生物多様性の確保、地域住民の生活保証、土壌栄養分の短期収奪などの問題を内含しているとの結論に達した。よって、今後は、熱帯人工林の環境貢献とその持続的生産・利用」に関する包括的かつ学際的な研究を進めることが必要であるとの結論に達した。ここで得られた結論を元に、新たな研究プロジェクトの立ち上げ、ならびに京都大学内の競争資金申請ならびに、日本学術振興会の事業など外部資金申請を計画中である。

研究業績

1. Umezawa, T. and Imamura, Y.: Science for Sustainable Utilization of Forest Resources in the Tropics The Outline of the Core University Program in the Field of Wood Science -, In "Proceedings of Workshop and Expose & Fundamental Research Scientific Result of Indonesia & Japan Cooperation Program (LIPI-JSPS), Jarakuta, Indonesia 17&18 2003", Dureau for Cooperation and Promotion of Sciences and Technology, Indonesian Institute of Science (LIPI), Jakarta, Indonesia, 75-80, 2004
2. Umezawa, T. Overview of the JSPS-Core University Program in the Field of Wood Science - Review of the past 9 years and future prospects - 8th Annual Meeting of Indonesian Wood Research Society, September 3-5, 2005, Tenggarong, Indonesia pp. K-3 - K-4

持続可能型リグノセルロース及び接着剤原料を用いた環境に優しいバイオマテリアルの開発研究

Development of environmentally friendly biocomposites from sustainable lignocellulosic and adhesive resources

研究期間：平成16年度～平成17年度

* 滝 欽二	静岡大学農学部
鈴木 滋彦	静岡大学農学部
山田 雅章	静岡大学農学部
岡本 忠	近畿大学農学部
川井 秀一	京都大学生存圏研究所
梅村 研二	京都大学生存圏研究所
山内 秀文	秋田県立大学木材高度加工研究所

* Bambang SUBIYANTO	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Mohamad GOPAR	R&D Unit for Biomaterials, LIPI
Entang RASYID	Winaya Mukti University
Eka Mulya ALAMSYAH	Winaya Mukti University
Ihak SUMARDI	Winaya Mukti University
Myrtha KARINA	Research Center for Physics, LIPI
Paridah MD. TAHIR	Universiti Putra Malaysia
Jalaluddin HARUN	Universiti Putra Malaysia

研究の目的

この研究プロジェクトの狙いは、持続可能型リグノセルロース資源および接着剤を用いて環境に優しいバイオコンポジットを製造することである。研究対象のリグノセルロースコンポジット（材料）としてはケナフや竹、人工林木材のような早生樹はもちろんのこと、ゴムノキやオイルパーム植物繊維などの農業副産物である。この研究では天然系の新しい接着剤や製造技術を用いて現に存在する多様な早生樹や農業副産物から高性能バイオマテリアルを製造することである。接着剤原料としては人工林木材のひとつであるアカシアマンギウムの樹皮などに多く含まれるタンニン成分、環境に優しく最近ヨーロッパでも見直されてきている天然系接着剤などである。また現に著しい発生をこうむっているオイルパーム産業界における廃棄物処理問題の克服が可能な代案となるであろう。

さらに天然系接着剤の利用は健康に優しい低ホルムアルデヒド系や非ホルムアルデヒド系接着剤のボード製造が可能となる。また、現在世界において接着剤の主原料である石油資源への依存がすこしでも削減できる。この研究は東南アジア地域（インドネシアおよびマレーシア）における持続可能な経済発展のため、環境維持への論争に向けて全体論的なアプローチへの基礎の確立に貢献できると考える。

研究成果

① インドネシア及びマレーシアにおいて期待できる持続可能型リグノセルロース資源としてのオイルパーム（アブラヤシ）の応用研究として、オイルを取り出した後の繊維状のオイルパームフルーツ殻（EFB）を用いて従来型のUFおよびPF接着剤でパーティクルボードを作成した。そのままでは表面性状が粗いので、ベニヤを表裏に接着したところ、弾性率や破壊強度などの機械的性質が向上した。この研究は現在廃棄されているEFBの有効利用への見通しに明るい望みが持てる内容で、今後の研究がさらに進み、良質な材料製造が可能になればインドネシアのみならずマレーシア等アジア諸国にも大きく影響することが考えられる。

② インドネシアで植林されている7-11年生の早生樹アカシアマンギウム、パラセリアンスファルカタリア及びメルクシマツの集成材としての利用を検討するために日本で使用されている各種接着剤を用いて接着性能試験を行った。その結果アカシアマンギウムは他の樹種に比べ接着表面の接触角が大きく、これにより接着剤の種類によっては接着性能が劣ることを見いだした。また熱硬化性接着剤の熱機械的分析を行い、接着性能との関係を求めた。またすでに合板に使用されている比重の低いパラセリアンスファルカタリア（0.34）はどの接着剤によっても2枚合わせ集成材の接着性能は良好であった。また、マレーシア産のアカサイマンギウム、アカシアハイブリットなどの早生樹についても接着試験を行った。

本研究はこれまで主としてパルプ用材としての植林木である早生樹が、板材に切削できるほど胸高直径が大きくなり30cm以上になっている現状からみれば、さらに高度で有効な利用研究として進めている。そして既存の接着剤を用いることにより造作材あるいは構造用集成材の製造研究がすすめば、インドネシアにとって早生樹集成材が輸出産業に成る可能性が出てくる。現状ではインドネシアには集成材の製品としての規格が存在していないので、日本の規格を参考にし、まずは早生樹の集成材接着性能のデータ蓄積が早急に必要であり重要な研究である。

③ マレーシア産マングローブのバークから取り出したスルホン化タンニン系（ST）接着剤をPRFに混合し耐水性能の改良を試みた。そして20および40℃でブナ材を接着した。また接着剤を混合したときのpHやゲル化時間を求めた。この結果ST中のNaOH濃度がゲル化に影響すること、40℃であれば耐水性能がPRFに匹敵するようになることを明らかにした。本研究はマレーシア産マングローブのバーク成分の有効利用に関する検討であり、この研究が順調に進行すればバークなどの成分のより高度な活用への道が開けられる。

④ アカシアマンギウムやそのバークのパーティクルとポリマー（マレイン酸無水物（MAH）により修飾した熱可塑性プラスチック）から木材-プラスチック複合体を作成した。ポリスチレン、ポリエチレンあるいはポリプロピレンと木材による複合体よりもM

AHを添加すると引張強度や降伏応力が増加することがわかった。木材あるいはバークとプラスチックとの複合体に関する研究は東南アジア諸国ではまだまだ始まったばかりである。

⑤ 竹からのボード開発研究の一環として竹繊維ストランドボードを製造した。その結果ランダムボードに比べ、配向ストランドおよび3層ストランドボードのMORは数倍大きくなることが判った。また3層ストランドボードの寸法安定性も良くなることを見いだした。

研究業績

1. Eka Mulya Alamsyah, Hiroaki Yoshida, Kinji Taki and Masaaki Yamada: Utilization of tropical fast-growing tree species -bond quality of Indonesian fast-growing tree species-. Proceedings of the 5th International Wood Science Symposium, 63-68, 2004
2. Paridah Md. Tahir and O. C. Musgrave: Improving the water resistance of sulfited tannin adhesive through alkaline treatment, Proceeding of the 5th international wood science symposium, 75-80, 2004
3. Bambang Subiyanto, Entang Rashid, Mohamad Gopar and Anita Firmanti: Veneer and thin plywood overlaid for quality improvement of particleboard made of palm oil empty fruit bunches, Proceeding of the 5th International Wood Science Symposium, 353, 2004
4. M. Karina, A. Syampurwadi, Sudirman and T. Okamoto: Utilization of Acacia mangium in polymer composites, Proceeding of the 5th International Wood Science Symposium, 404, 2004
5. Bambang Subiyanto, Mohamed Gopar, Sadrah Devi, Yoko Suhaya, Kuniharu Yoko: Production of LVL using PRF, Proceed.of 6th International Wood Science Symposium,p.25(Bali,2005)
6. Faizatul Falah, Widya Fatriasari, Euis Hermiati: Quality Changes of chitosan and starch as natural rubber latex - styrene during storage,p.215-219, Proceed.of 6th International Wood Science Symposium,p.25(Bali,2005)
7. Eka Mulya Alamsyah, Masaaki Yamada, Kinji Taki: Bond quality of Indonesian and Malaysian fast-growing tree species,p.220-227, Proceed.of 6th International Wood Science Symposium,p.25(Bali,2005)
8. Mahamad Gopar, Ismail Budiman, Subyakto, Bambang Subiyanto: Particleboard from Acacia mangium bark -effects of resin type and amount of wax emulsion on the board properties,p.450, Proceed.of 6th International Wood Science Symposium,p.25(Bali,2005)
9. Ihak Sumardi, Kazuhiko Ono, Shigehiko Suzuki: Effect of density and layer structure on the mechanical properties of bamboo strandboard,p.111-112,IAWPS2005, Vol. II (Yokohama,2005)
10. Entang Rasyid, Bambang Subiyanto, Atmawi Darwis, Anita Firmanti: Physical and mechanical performance of fiberboard made of coconut fruit,p.128-129,IAWPS2005, Vol. II
11. Ihak Sumardi, Shigehiko Suzuki, Kazuhiko Ono: Some of the important properties of oriented

strandboard manufactured from bamboo (contribution to FPJ)

12. Eka Mulya Alamsyah, Liu Chang Nan, Masaaki Yamada, Kinji Taki, Hiroaki Yoshida:
Bondability of tropical fast-growing tree species I -Indonesian wood species-(contribution to
JWRS)

[目次にもどる](#)

共同研究の写真



アカシアマンギウム植林地
における調査 (スマトラ)
課題20、25



アカシア樹皮接着剤を用い
た軽量ボードの作成
課題20



熱帯早生樹の組織培養
課題23、25



熱帯材抽出成分利用に関する
研究打ち合わせ
課題21



アカシアマンガウム植林地の
森林火災状況調査
課題20、25



アカシアマンガウムの
心材腐朽調査
課題25



熱帯早生樹植林地調査(カリマンタン)
課題25



シロアリのコロニーの調査
課題18



サトウキビプランテーション調査
課題24



熱帯早生樹材から作成したトラスの強度試験
課題19



熱帯造林木の調査
課題17



床実験
課題19



具樹種LVLトラス実験
課題19



特別講義後記念撮影-スリビジャヤ大学
課題19



スマトラ島南部P社アカシヤマンギウム植林地
課題20



: A. mangium
: T - 9103
: SUBAN JERIJI
: 19 JANUARI 1991

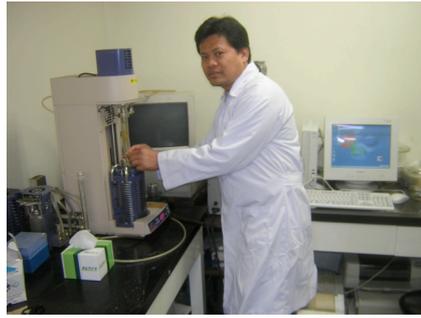


12年生アカシヤマンギウム
課題20

アカシヤマンギウムの伐採
課題20



プロジェクトメンバー
課題20



接着剤の調製実験
課題26



ラミナの製造実験
課題26



センゴンの生長量と成長応力の測定
課題23



セルボンでの研究者交流
課題23



IANPSでの発表
課題 2 1



プロジェクトメンバー
課題 2 4



製糖工場
課題 2 4



Mulawarman大学にて
課題 2 2



スラヴェシ島調査
課題 2 2



Hasanudin大学にて
課題 2 2