

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：16401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24405011

研究課題名(和文) チーク植林による生態系修復過程40年の検証

研究課題名(英文) Ecological evaluation on 40 years of Teak plantation in Thailand

研究代表者

櫻井 克年 (Sakurai, Katsutoshi)

高知大学・その他の部局・副学長

研究者番号：90192088

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,800,000円

研究成果の概要(和文)：北タイのチーク植林について、GISによるマッピング、土壌環境評価、森林気象環境評価、植物生理生態評価の視点からチーク材生産に影響を与える環境要因を明らかにするとともに、生態系への影響やチーク林を放置した場合の生態系修復効果を検証した。チーク生育期となる雨季の土壌有効水分量が、チーク生育の最も重要な因子であることが明らかとなった。チーク材の生産と荒廃森林の修復や森林保全を両立させるには、土壌の水分保持・供給能に着目し、材生産林と高い多様度を達成するための保全林への新たなゾーニングを進めることが肝要であると考えられた。

研究成果の概要(英文)：In northern Thailand, there are two types of teak plantation; those of F10 have been well-managed as commercially-based industrial forests while those of RFD have been left without any management for the main purpose of ecosystem conservation. This study investigated those plantations in terms of GIS mapping, soil environments, forest meteorological environments, and tree ecophysiology in order to clarify the environmental factors and mechanisms that affect teak growth performance and to assess the effectiveness to rehabilitate degraded forest. As the main finding, the most important factor which determinates teak growth in this area is regarded to be soil moisture availability and amount during the early rainy season. In order to attain both teak production and forest conservation, new zonation of forests to production forest and conservation forest with high biodiversity will be required taking into consideration soil moisture retention and supply capacity.

研究分野：熱帯土壌学

キーワード：タイ チーク植林 生態系修復 多様性 土壌環境

1. 研究開始当初の背景

(1) チーク (*Tectona grandis*) は、東南アジア大陸部に位置する熱帯季節林や熱帯サバンナ林に優占する樹木であり、19世紀半ばから盛んに商業伐採が行われてきた。天然林チークではもはや世界需要を満たすことはできず、世界各地にその植林地が拡大している。

(2) タイでは、1970年代から王立森林局 (RFD) と林業公社 (FIO) により、北タイ全域で本格的な植林事業が開始された。FIO と RFD では植林方針が異なり、FIO では商業造林、RFD では荒廃地の植被の再生が主たる方針である。植林方針の違いを通して植林地生態系にも現れている。FIO の植林地は綿密な施業管理下にあり、古い植林地では伐採が行われ、その後の再植林や萌芽更新が始まっている。一方、RFD の植林地のほとんどは、1989年の地すべり防止のための伐採禁止令の発布以降、管理が行われることなく放置され、森林への自然再生が始まっている。結果論ではあるが、荒廃地の植被再生にとどまらず、森林生態系への修復が達成されていると言える。

(3) チーク植林地に関する研究は、多くの国や地域で行われてきた。古くから植林が実施されてきたインドでは30年~80年生の植林地の報告もみられるが、近年植林が活発となったアフリカや中南米諸国では30年生以上の植林地を扱った研究は皆無である。最も有名なチーク生産国のミャンマーでは政情が不安定なこともあってか、公表されている研究事例自体が少ない。タイでは、植林木の生育評価や経済分析など、植林施業に関する直接的な検討や、生育状況や生育環境についての研究が個別に行われてきた。

(4) 研究代表者の櫻井らがFIO植林地の土壌環境を評価したところ、明瞭な乾季・雨季のある土地に自生するチークを植林する際に必要な土壌条件は、乾季に水分が枯渇せず雨季には水分過多にならないこと、すなわち高い保水性と排水性を兼ね備えていることであると分かった。RFD植林地では、すでに二次植生への遷移が始まり、多様度の高い森林生態系への再生が自然選択的に達成されていることが明らかとなった。一方で、植林地内の地形や土壌の変異が非常に大きいため、植林の成否や生態系の再生・修復のための明確な指針が出せない状況にあることも明らかとなった。そこで、今後は、FIOとRFDの植林地を比較や検討し、40年にわたるチーク植林について、チーク材生産の良否に影響を与える環境要因や荒廃した生態系の修復効果を検証する。それを政策提言として社会に発信することが必要であると考えられた。

2. 研究の目的

(1) 森林の減少や劣化の著しいタイ - 特に急傾斜地が広がる北タイでは、木材需要を満たし、同時に森林保全や荒廃地の修復と再生

を実現できる方策を見出すことが緊急の課題である。

(2) そこで、本研究では、植栽後40年経過したFIO及びRFDのチーク植林地を研究対象とし、土壌を含めた植物生育環境と、チークの生育・生態生理機能や植生状況を関連付け、生態学的観点からの評価や特徴づけを行い、チーク材生産に影響を与える環境要因を明らかにし、チーク材の持続的生産に適する土地とチークを中心とする森林生態系として修復あるいは保全すべき土地の判別基準を策定することを目的とした。

3. 研究の方法

1) 調査地とプロット

タイ人研究協力者との協議により、4つの植林地の17林分を調査プロットとした(図1)。

- ・ Mae Sakorn (RFD, ナン県), 9プロット
 - ・ Huay Tak (RFD, ランパン県), 4プロット
 - ・ Khun Mae Kummee (FIO, プレー県), 1プロット
 - ・ Mae Moh (FIO, ランパン県), 3プロット
- さらに、Mae Sakorn 植林地内の3つの林分内に集中調査プロット MS1, MS2, MS3 を設置した(表1)。

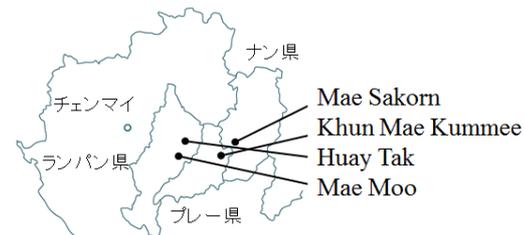


図1. 北タイの調査地

表1. 集中調査プロットの概要

	年数	緯度(N)	経度(E)	傾斜度	母岩
MS1	58	18° 31'	100° 34'	2	砂岩
MS2	56	18° 29'	100° 30'	25	頁岩
MS3	33	18° 30'	100° 32'	3	砂岩

2) 研究体制と研究内容

日本人及びタイ人研究者の専門性を考慮し、GISによるマッピング、土壌環境評価、森林気象環境評価、植物生理生態評価の視点から研究を実施した。主な研究内容は、次のとおりである。

GISマッピング

時系列衛星データを用いて、植林地の空間的変遷を調べるとともに、植生構造の季節変動を気象条件との関係から解析する。

土壌環境評価

全てのプロットにおいて、植林年数、RFD及びFIOの管理方式の違い、母材の違いや斜面位置などの観点から土壌を調べ、植林地の土壌環境特性を評価する。

森林気象環境評価

MS1~3において、気温、降水量、土壌水分のモニタリングを実施し、森林気象の特徴付けを行う。

植物生理生態評価

MS1~3において、チーク木の年輪解析や水ポテンシャル測定を行い、チークの生育や生理生態機能と、土壤環境や森林気象環境との関連付けを行う。

4. 研究成果

(1) GIS マッピング

調査地の地理情報を整備するため、ペーパーマップとデジタルマップを用いて4植林地の林班図を作成するとともに、ALOS/AVNIR-2及びTHAICHOTE衛星データを用いて林班内の土地被覆を解析した(図2)。



図2. 作成した林班図. Mae Sakorn 植林地のもの。

Terra/MODIS 時系列データを用いて、植生指数 (EVI2) を算出したところ、乾季末にチーク木とその他の落葉性樹種による植生指数への影響が明瞭に認められた。そこで、各年2月から4月のデータを使って13年間の年別データを作成した(図3)。さらに、Mae Sakorn 植林地の林班2499について、各年の植生指数 (NDVI) を抽出し、11月~3月までの積算降水量と比較したところ、これらの間には高い相関関係 ($r = 0.83$) が認められた。この結果は、乾季末の植生指数を用いることにより、林分内のチークとその他の樹木、さらには他の植物の被覆への寄与率を見積もることができる可能性を示唆している。

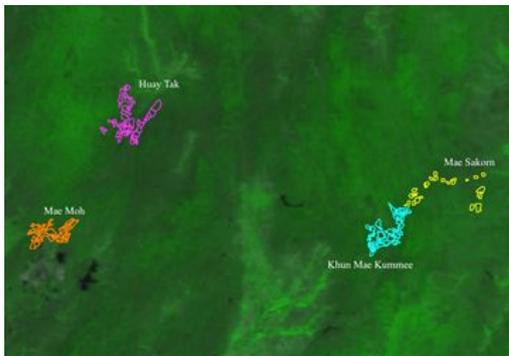


図3. 作成したMODISデータの年間コンボジット. 2000年のもの。

Mae Sakorn 及び Khun Mae Kummee 植林地について、Landsat 時系列データにより乾季初頭と乾季末の植生指数 (NDVI) を比較したところ、時期によるチーク林分の変化を検出できなかった。チーク林のような比較的密な森林では、NDVI は飽和し、感度が低いことが考

えられるので、EVI のような他の指標を使用することが必要であると示唆された。しかし、Mae Sakorn において、林班毎の植生指数 (EVI2) を求め、現地踏査による実際のチーク木の分布範囲と比較したところ、いくつかの林班はチークのみならず他の落葉性樹種から構成されており、そのような樹種が EVI2 の季節変動に影響を及ぼしている可能性が示唆された。チーク植林地における植生指数の算出及び利用法を改善し、精度の向上を図る必要がある。

(2) 土壤環境評価

ほとんどのプロットでリル侵食あるいはガリー侵食が認められた。乾季にはチーク落葉が、季節に関わりなく下層植生であるタケ類の落葉が蓄積していたがいずれも比較的新鮮なものであり、分解の進行したリター層は存在していたとしても非常に薄かった。土層深は50cm以上であったが、A層直下に硬化した鉄質結核からなるラテライト層が存在する土壤は10~30cmと極端に浅かった。全ての土壤は母材に関わらず風化を受け、比較的細粒質であった。植物根は表層に集中的に存在していた。

RFD と F10 の管理方式の違いや植林年数と土壤の性質の間に関係はみられなかった。

母材(砂岩、頁岩、石灰岩)の異なる土壤間で、性質に大きな差異はみられなかったが、石灰岩由来土壤では全炭素、全窒素、交換性Caが高かった。一部の砂岩由来土壤でCECと交換性Caが非常に高く、背後の石灰岩山からの移動堆積物の影響であると考えられた。しかし、その他の砂岩や頁岩由来土壤であっても、深さ0-5cmのpHは6.0以上、20-25cmでも5.5以上であり、交換性塩基含量も高く、化学的性質の面で本地域の土壤はチーク生育には問題ないと考えられた。一方、物理性の面では、0-5cm、20-25cm土壤とも、母材に関係なく仮比重は $1.2 \sim 1.4 \text{ g cm}^{-3}$ であり、飽和透水係数は $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ cm sec}^{-1}$ のオーダーと良好な値であった。石灰岩由来土壤と砂岩由来土壤でpF水分曲線の形状は類似していたが、pF4.2の水分量は前者の方が大きく(図4)、石灰岩由来土壤の方が乾季の厳しい乾燥条件下での水分供給能に優れていることが示唆された。以上から、本地域土壤の性質は母材による大きな差異は認められないが、石灰岩由来土壤、あるいは石灰岩の影響を受けた土壤がチーク生育に最も良好であると考えられた。

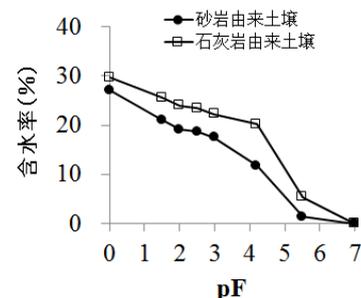


図4. pF水分曲線の比較。

異なる斜面位置における土壌への影響を評価するため、急傾斜のMS2において、頂部の残存DDF林と、斜面上部から底部までのチーク林分4地点の土壌断面及び理化学性を調べた。DDF林および斜面上部林分では露岩もみられ、斜面下方に比べ土壌のレキ含量も非常に高く、特にDDF林ではA層が薄かった(図5)。これらの地点の土壌は比較的砂質であり、有機物や養分に乏しかった。一方、斜面中部から底部にかけての土壌はレキ含量が低く、粘土含量が高く、有機物及び可給態リン酸以外の養分は斜面上部より高かった。したがって、急傾斜地では斜面方向の土壌物質の移動が顕著に認められ、斜面上部では乾季における乾燥が、斜面底部では雨季における湿害が問題となる可能性が示唆された。ただし、斜面上部でも土壌養分の枯渇や土壌酸性はそれほど深刻ではなかった。実際に斜面上部のチークの生育は、斜面下方のものより明らかに劣っていた。

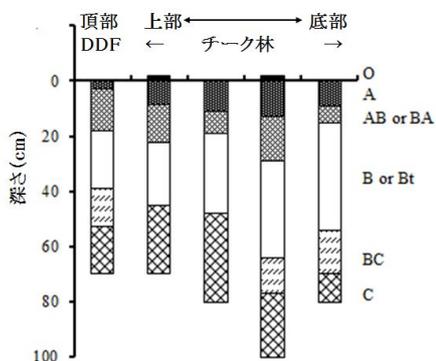


図5. 斜面位置による土壌断面の違い。

(3) 森林気象環境評価

Mae Sakorn 植林地において、MS1では土壌深さ5cm, 17.5cm及び35cmの、MS2及びMS3では深さ5cm, 20cm及び45cmの体積水分含量(VSWC)を60分間隔でモニタリングした(図6)。また、降水量のモニタリングをMS2から6km離れた開放空間地点で実施した。VSWC値には降水パターンによる変動がみられた。2013年においては、乾季末の3月から4月にかけて、全てのプロットで0.2以下の値が頻繁に観測された。一方、雨季の7月から9月にかけてMS2のVSWCは、MS1とMS3のものより有意に高く、その最大値は8月末の0.4であった。

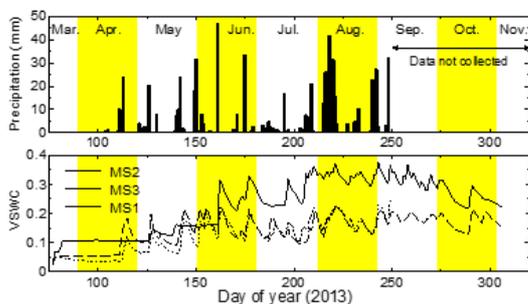


図6. 2013年の降水量(上)及び土壌水分量(下)のモニタリング結果。

斜面位置の違いによる土壌水分への影響を評価するため、2013年9月よりMS2の頂部のDDF林及び斜面上部のチーク林分においてVSWCのモニタリングを開始した(図7)。2013年、2014年ともMS2の斜面中部の方がMS3より、VSWCは高く、傾斜度の違いとともに土性とそれに伴う透水性や保水力の違いが原因であると考えられた。MS1傾向は2013年と2014年では異なっており解釈が難しいが、このような傾向の変動にはこのプロットの土壌がラテライト層を含み非常に薄いこと、粘土質であり硬いため物理性も劣悪であることが関係していると思われる。一方、MS2のDDF林と斜面上部チーク林分のVSWCは、斜面中部のみならず、MS1やMS2のものより低かった。MS2急傾斜地であり表面流去により降水が斜面下方に移動しやすいこととともに、(2)で既述したようにDDF林と斜面上部チーク林分の土壌物理的環境の劣悪さが原因であると考えられる。

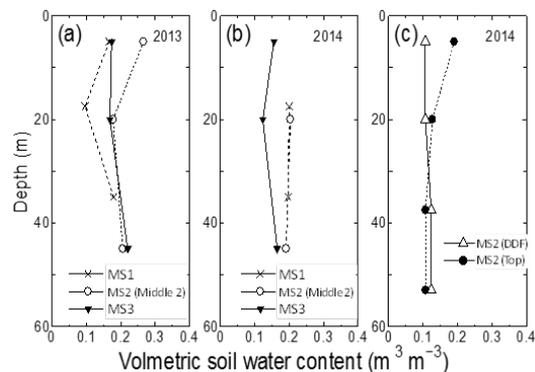


図7. 2013年及び2014年の5月から10月までのVSWCの平均値。

(4) 植物生理生態評価

土性や地形条件がチーク生育に及ぼす影響を調べるため、MS1, MS2, MS3の各プロットにおいてチーク30個体を対象に年輪解析による樹木年代解析を行った。同一プロット内では、個体間の生育傾向に大きな差はみられなかった(図8)。一方、年間成長速度はプロット間で差がみられ、MS2が最も低く、チーク成長がプロット的环境特性による影響を受けていることが示唆された。

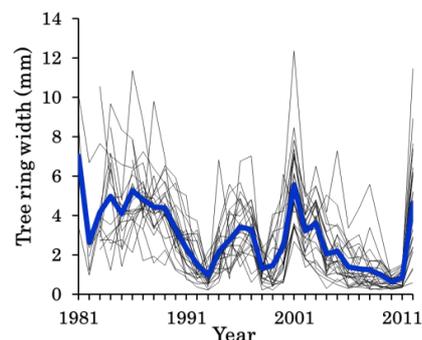


図8. MS2のチークの年輪成長。各個体: 細線. 平均値: 太線。

乾季におけるチーク枝の水ポテンシャルを測定したところ、MS2 で最も低く、乾季の乾燥条件下での土壤有効水分量がチーク生育の重要な要因であり、MS2 で最も低いことが示唆された（図9）。

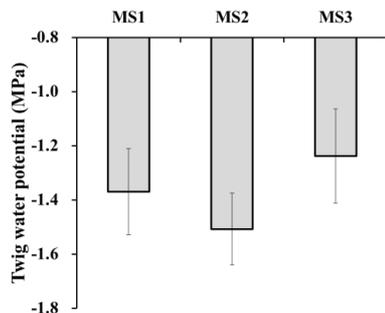


図9. 乾季におけるチーク枝の水ポテンシャルの比較.

MS1 と MS2 の年輪成長量と月平均降水量を比較したところ、前年の雨季初めの降水量がチークの生育に有意な影響を及ぼしていた（図10）。一方、MS3 では前年度のみならず当年の降水量とも関係がみられなかった。したがって、MS3 の方が MS1 と MS2 より土壤水分の面で優れていると考えられた。この結果は（3）の VSWC 測定の結果と矛盾しているが、VSWC 測定はセンサーを埋設した深さの水分量であり、根域全体の水分量を示すものではないこと、さらに風乾状態から飽和状態までの全水分量で、pF 値に基づく有効水分を示すものではないことが原因かもしれない。実際のところ、MS1 は土層が薄く、MS2 は急傾斜地であり、平坦地であつ土層も厚い MS3 が実際の水分供給の点で優れていたものと考えられる。

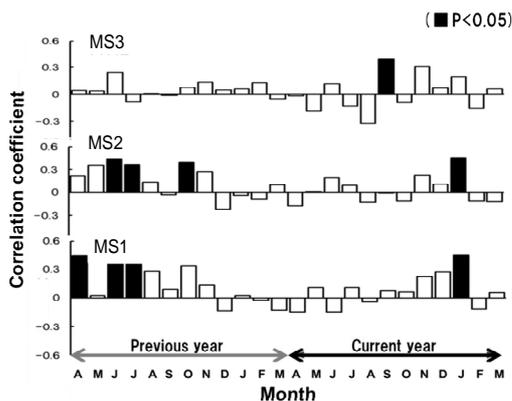


図10. チークの年輪成長量と月平均降水量の関係.

(5) 結論

RFD 所有の Mae Sakorn 植林地の GIS 解析により、チーク以外の落葉性樹種が混在していることが明らかとなった。このことは、植林したチークを切らないという RFD の管理手法により、多様度の高い森林生態系への再生が達成されているという櫻井らの観察結果と一致している。一方で、衛星データと RFD と FIO から入手した植林地マップに大きな差

異がみられることがあり、再植林や森林火災、さらに不法伐採や他の土地利用への転換により植林地の状況が大きく変化している可能性が考えられた。したがって、GIS 手法を軸として、早急に森林の回復度評価やチーク資源の再評価を実施する必要がある。

土壤環境の点では、本地域土壤は母材に関係なく化学性は良好であった。しかし、ラテライト層を伴う場合には土層が極端に薄かった。また多くのプロットで土壤侵食の形跡が認められ、特に MS2 のように傾斜度が 20° を超えるような場合には、侵食により斜面上部の土壤環境が悪化し、チーク生育には不適となる可能性が明らかとなった。そのような土壤環境の悪化は土壤水分 (VSWC) のモニタリング結果にも現れていた。

年輪解析や水ポテンシャル分析により、チーク生育期となる雨季の土壤有効水分量が、チーク生育の最も重要な因子であることが示された。また、保水性分析では石灰岩由来土壤は、乾燥時の保水力に優れていることが示され、そのような保水力が乾季におけるチーク生育に重要となる可能性が示唆された。

一つの植林地内でも土壤環境の変動は大きい。今後チーク材の生産と荒廃森林の修復や森林の保全を両立させるには、土壤環境 - 特に水分保水力・供給力に着目し、RFD や FIO の所有ということに捉われないこと、一つの植林地において材生産林と高い多様度を達成するための保全林へのゾーニングを新たに進めることが肝要であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 4 件)

Tanaka, S., Kano, S., Lat, J., Wasli, M.E., Paing, T.N., Abdu, A., Sakurai, K., Kendawang, J.J. 2015. Influence of planting and harvesting Acacia mangium on the morphological and physicochemical properties of soil in an industrial forest plantation. Journal of Tropical Forest Science. 印刷中. 査読有

Nagai, S., Ishii, R., Suhaili, A.B., Kobayashi, H., Matsuoka, M., Ichie, T., Motohka, T., Kendawang, J.J., Suzuki, R. 2015. Usability of noise-free daily satellite-observed green-red vegetation index values for monitoring ecosystem changes in Borneo. International Journal of Remote Sensing 35, 7910-7926. 査読有 DOI: 10.1080/01431161.2014.978039

Inoue, Y., Kenzo, T., Tanaka-Oda, A., Yoneyama, A., Ichie, T. 2015. Leaf

water use in heterobaric and homobaric leafed canopy tree species in a Malaysian tropical rain forest. *Photosynthetica* 53, 177-186. 査読有 DOI: 10.1007/s11099-015-0105-6

Tanaka, S., Lattirasuvan, T., Sritulanon, C., Iwasaki, K., Sakurai, K. 2014. Soil fertility status under various types of upland farming in northern Thailand. Case study of a village located in a mixed deciduous forest, ペドロジスト 56, 2-12 査読有 DOI: 10.3759/tropics.18.185

〔学会発表〕(計 4 件)

岩崎弘晟, 小川智子, Narong Koonkhunthod, Thanakorn Lattirasuvan, 市栄智明, 田中壮太, 櫻井克年. 2015. 異なる斜面位置における土壌特性とチーク木生育 - タイ国ナーン県メーサコン植林地の事例 - . 平成 25 年度日本熱帯生態学会, 6 月 20 日~6 月 21 日, 京都大学 (京都府・京都市)

市栄智明, 吉原良, 五十嵐秀一, 田中憲蔵, 新山馨, Abd Rahman Kassim, Christine Dawn Fletcher, 陀安一郎. 2015. 放射性炭素を用いた熱帯雨林樹木の過去 50 年の成長量解析. 第 62 回日本生態学会, 3 月 21 日~3 月 21 日, 鹿児島大学 (鹿児島県・鹿児島市)

岩崎弘晟, 堀田泰道, Thanakorn Lattirasuvan, Narong Koonkhunthod, Kriengsak Junthotai, 田中壮太, 櫻井克年. 2014. タイ北部チーク植林地におけるタケ群落下の土壌特性. 2014 年度日本土壌肥料学会東京大会, 9 月 10 日~9 月 10 日, 東京農工大学 (東京都・小金井市)

堀田泰道, 岩崎弘晟, Thanakorn Lattirasuvan, Narong Koonkhunthod, Kriengsak Junthotai, 田中壮太, 櫻井克年. 2013. タイ国北部チーク植林地における土壌特性. 日本土壌肥料学会関西支部会, 11 月 28 日, KKR 朝倉 (山口県・山口市)

〔図書〕(計 1 件)

田中壮太 (分担執筆). 2015. 世界の土・日本の土は今. 「水食. 東南アジアの山の農業と水食とのたたかい」の章. 24-31. 農山漁村文化協会.

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称:

発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況 (計 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

櫻井 克年 (SAKURAI, Katsutoshi)
高知大学・その他の部局・副学長
研究者番号: 90192088

(2) 研究分担者

市栄 智明 (ICHIE, Tomoaki)
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号: 80403872

田中 壮太 (TANAKA, Sota)
高知大学・教育研究部総合科学系・教授
研究者番号: 10304669

松岡 真如 (MATSUOKA, Masayuki)
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号: 50399325

森 牧人 (MORI, Makito)
高知大学・教育研究部自然科学系・准教授
研究者番号: 60325496

(3) 連携研究者

()

研究者番号: