

論文数動向に着目した 農業分野/吸収源に関する研究開発動向

2020年9月8日（火）

国立研究開発法人科学技術振興機構

経営企画部エビデンス分析室

研究開発戦略センター

低炭素社会戦略センター

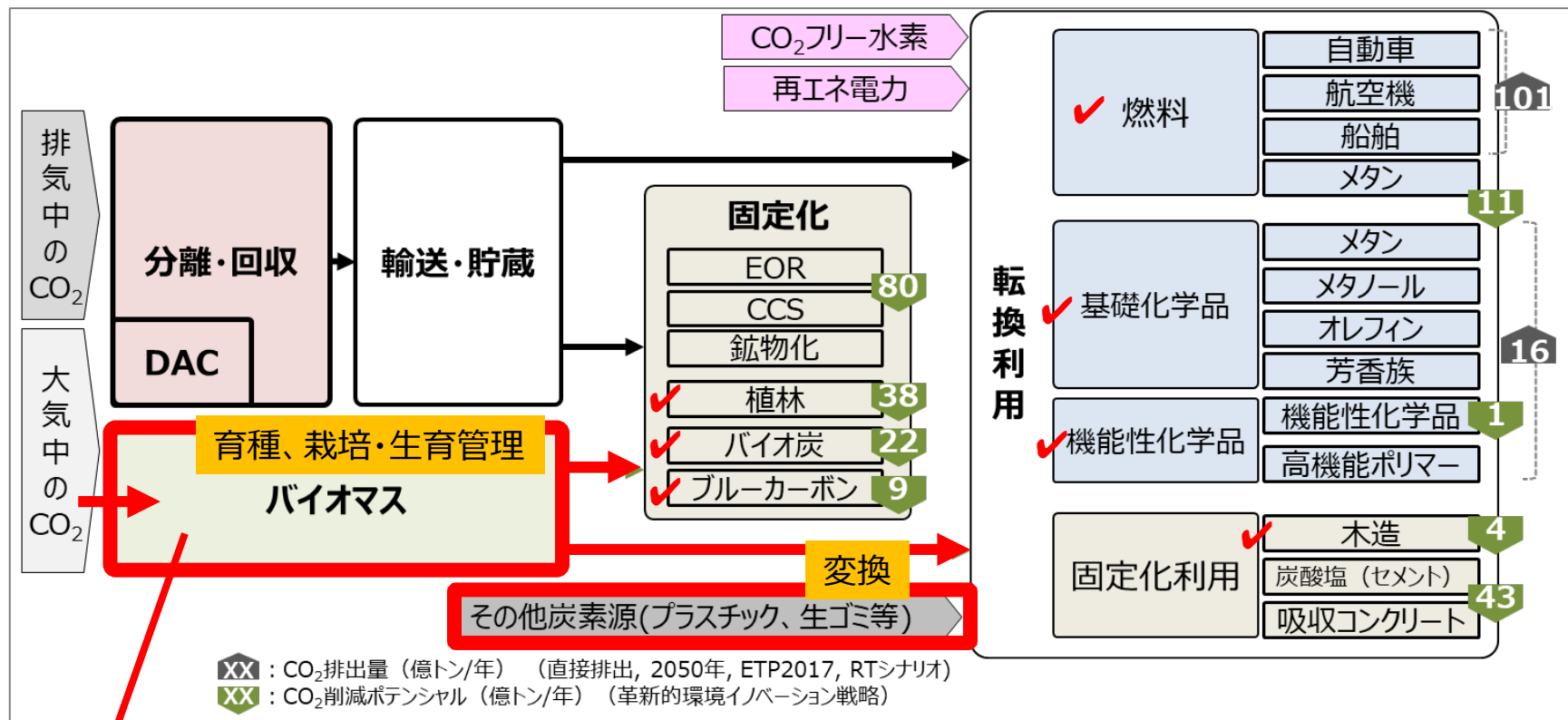
未来創造研究開発推進部

対象とする技術領域について

イノベーションアクションプランで設定された 「16の技術課題」および「39テーマ」のうち今回該当のもの	対象技術領域
「13. 最先端のバイオ技術等を活用した資源利用及び農地・森林・海洋へのCO2吸収・固定」 「14. 農畜産業からのメタン・N2O排出削減」 「15. 農林水産業における再生可能エネルギーの活用&スマート農林水産業」 「16. 大気中のCO2の回収」 →ゼロエミの実現、CO2吸収源の拡大	バイオマス利用 ○対象：エネルギー作物／木材／微細藻類／廃棄物／海藻等 ○プロセス：育種／栽培・生育管理／変換 農地炭素貯留 メタン、N2Oの低排出農畜産業 ブルーカーボン

- ③⑩ ゲノム編集等バイオテクノロジーの応用
- ③⑪ バイオマスによる原料転換技術の開発
- ③⑫ バイオ炭活用による農地炭素貯留の実現
- ③⑬ 高層建築物等の木造化やバイオマス由来素材の利用による炭素貯留
- ③⑭ スマート林業の推進、早生樹・エリートツリーの開発・普及
- ③⑮ ブルーカーボン（海洋生態系による炭素貯留）の追求
- ③⑯ イネ品種、家畜系統育種、及び農地、家畜の最適管理技術の開発
- ③⑰ 農山漁村に適した地産地消型エネルギーシステム構築
- ③⑱ 農林業機械・漁船の電化、燃料電池化、作業最適化等による燃料や資材の削減（農林水産業のゼロエミッション）

対象とする技術領域の位置づけ



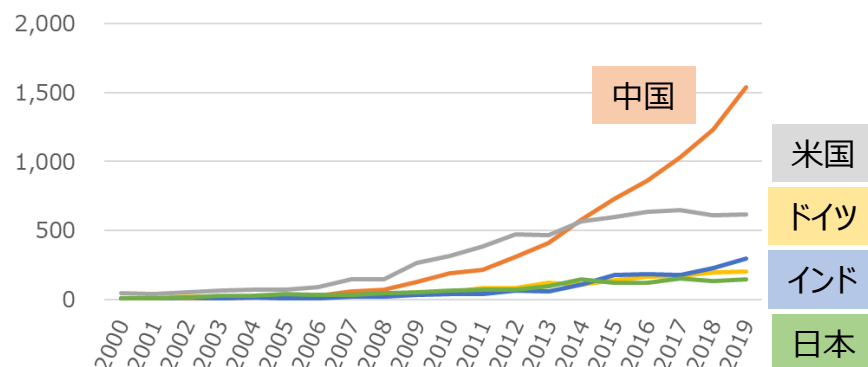
- ・エネルギー作物
- ・微細藻類
- ・農業残さ
- ・木材
- ・下水汚泥、家畜排せつ物
- ・海藻 (藻類)、海草 (種子植物)

第1回グリーンイノベーション戦略推進会議ワーキンググループ (2020年7月7日) NEDO TSC 資料を基に図作成。

https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/green_innovation/pdf/001_07_01.pdf

論文数動向からみる研究開発動向：バイオマス変換

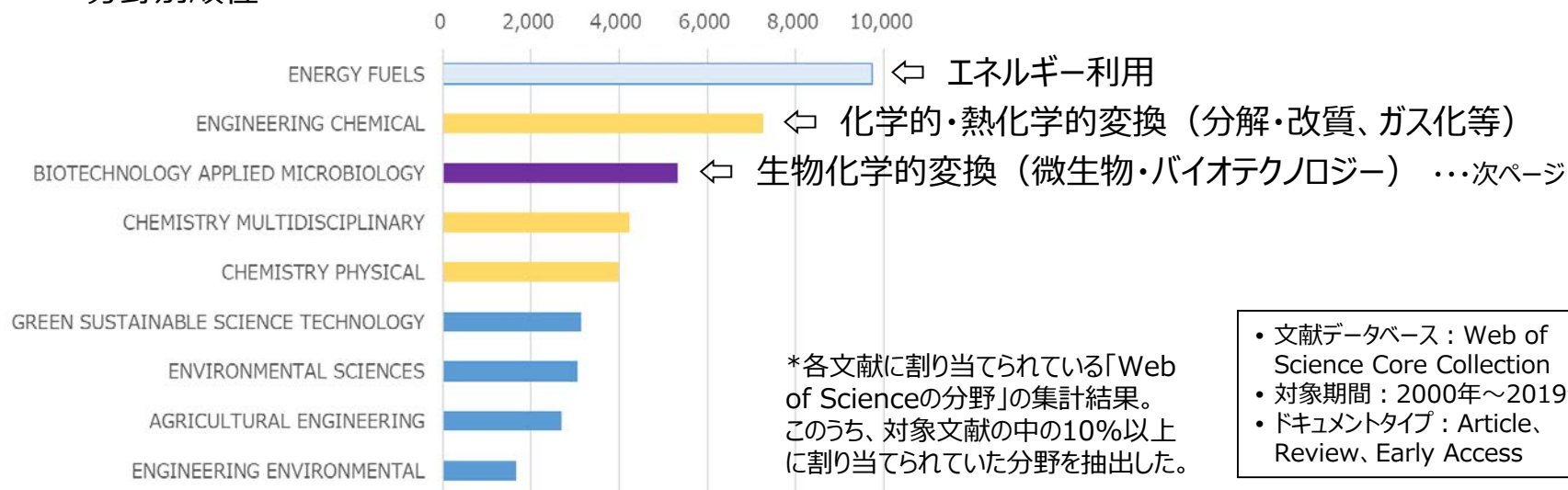
■ 文献数の年次推移（バイオマス変換）



■ 国別順位（累積文献数上位10カ国）

国名	文献数	国名	文献数
中国	7423	ブラジル	1173
米国	6280	スペイン	1155
ドイツ	1537	英国	1078
インド	1488	フランス	1021
日本	1376	韓国	1019

■ 分野別順位*



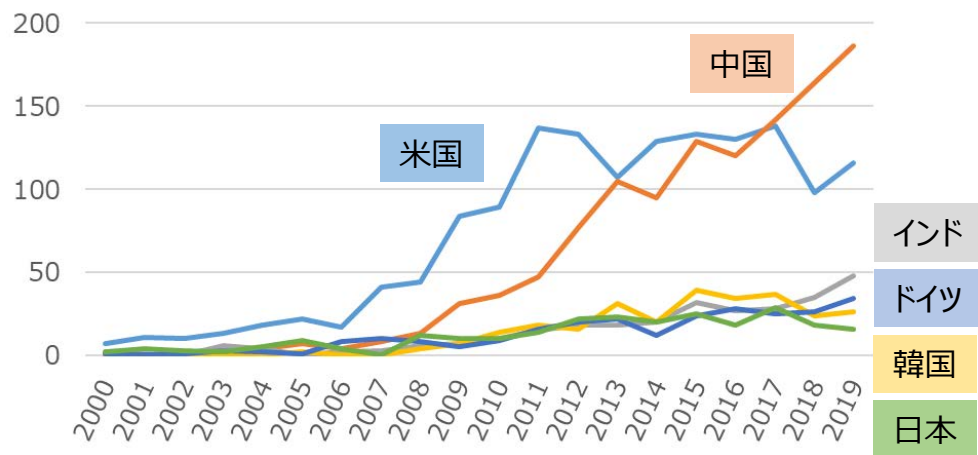
*各文献に割り当てられている「Web of Scienceの分野」の集計結果。
このうち、対象文献の中の10%以上に割り当てられていた分野を抽出した。

- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2000年～2019年
- ドキュメントタイプ：Article、Review、Early Access

論文数動向からみる研究開発動向：バイオマス変換（微生物・バイオテック）

■ 文献数の年次推移（バイオマス変換＋微生物・バイオテクノロジー）

■ 国別順位（累積文献数上位10カ国）



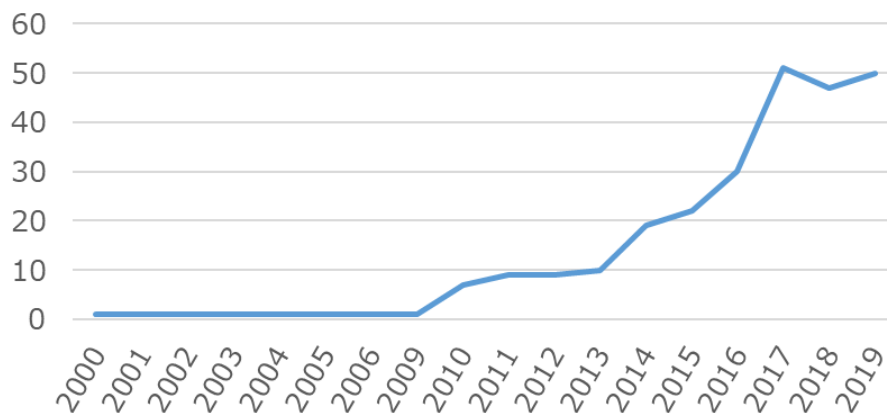
■ 日本の上位機関

機関名	文献数	機関名	文献数
神戸大学	33	JST	16
産業技術総合研究所	32	九州大学	14
京都大学	26	理化学研究所	13
東京大学	20	北海道大学	10
東北大学	17	長岡科学技術大学	9

- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2000年～2019年
- ドキュメントタイプ：Article、Review、Early Access

論文数動向からみる研究開発動向：バイオマス関連のエマージングな動向

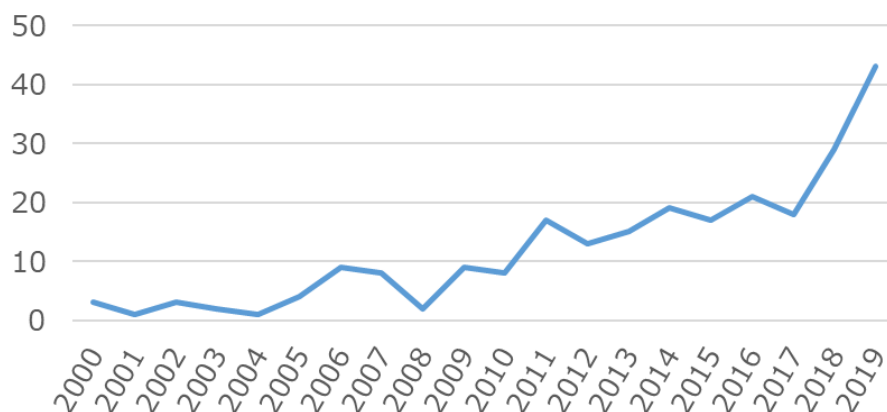
■ 文献数の年次推移（バイオマス+バイオ電気合成/バイオ電気化学） ■ 国別順位（累積文献数上位5カ国）



- 微生物代謝の電気化学的制御や、電気合成微生物に関連する研究が増加傾向。
- 日本はフランス、イタリアと並び11番目。

国名	文献数
中国	69
米国	67
ベルギー	20
オランダ	19
インド	18
...	...
日本	11

■ 文献数の年次推移（燃料+遺伝子+編集/改変）



- 燃料用途のバイオマスに関する遺伝子改変関連の研究も増加傾向。その一部はゲノム編集技術を応用したものも含まれる。

■ 国別順位（累積文献数上位5カ国）

国名	文献数
米国	96
中国	39
ドイツ	16
日本	16
韓国	13

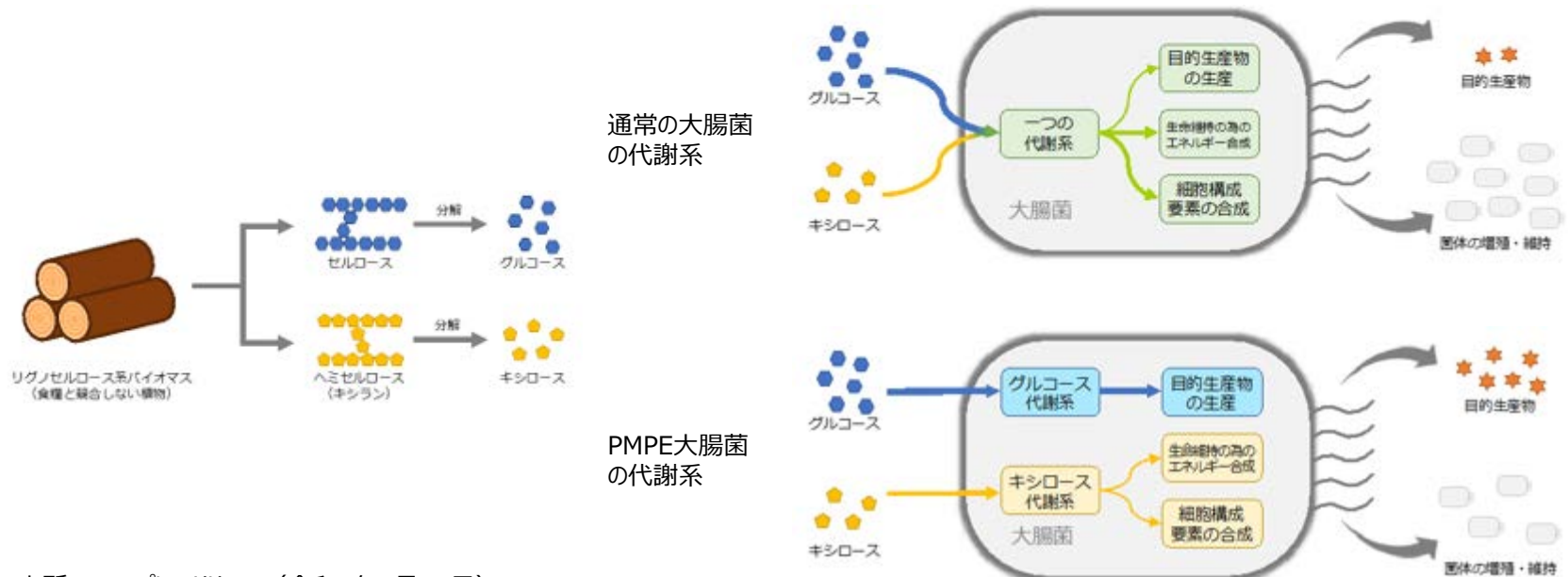
- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2000年～2019年
- ドキュメントタイプ：Article、Review、Early Access

関連トピックス：微生物によるバイオマス変換

■ 微生物の増殖と物質生産を独立してコントロールする Parallel Metabolic Pathway Engineering (PMPE) 技術の開発

藤原ら (Nature Communications, 2020)

- ・従来、グルコースとキシロースの代謝は同一の代謝系で行われるが、今回、この代謝系を分け、それぞれ独立して行われるよう代謝デザインを施した大腸菌を構築。
- ・また、改変した大腸菌にムコン酸生産経路を導入したところ、世界最高値の収率が得られた。
- ・代謝系が同一の場合にはグルコースもキシロースも菌体増殖のために多くを使ってしまうため、結果的に物質生産は低下。PMPE技術により、グルコースは物質生産に、キシロースは菌体増殖のために使うよう代謝系が改変され、結果的に物質生産の収率を向上させることが可能に。



出所：JSTプレスリリース (令和2年1月14日)
<https://www.jst.go.jp/pr/announce/20200114-2/>

関連トピックス：微生物によるバイオマス変換

■ 有用微細藻類の屋外開放培養

宮城島ら (Scientific Reports, 2020)

- 微細藻類を容易に増やすための「屋外開放培養」で問題となる、藻類を捕食する微生物などの混入増殖を抑制した培養法を開発。
- 限られた水資源である淡水ではなく、海水を用いる培養法としたことにより、培養施設の立地や規模等に関する制限の緩和の可能性も拡大。
- 使用した淡水産藻類である単細胞紅藻「イデユコゴメ類」は他の微細藻類と比べて高密度にまで増殖し、タンパク質や各種ビタミンの含有量が高いため、水産飼料としての利用等が期待されている。
- 「イデユコゴメ類」のうちのシゾン属は細胞壁をもたないため、乾燥、凍結、中和、低張処理のいずれかで容易に細胞を破砕することが可能。

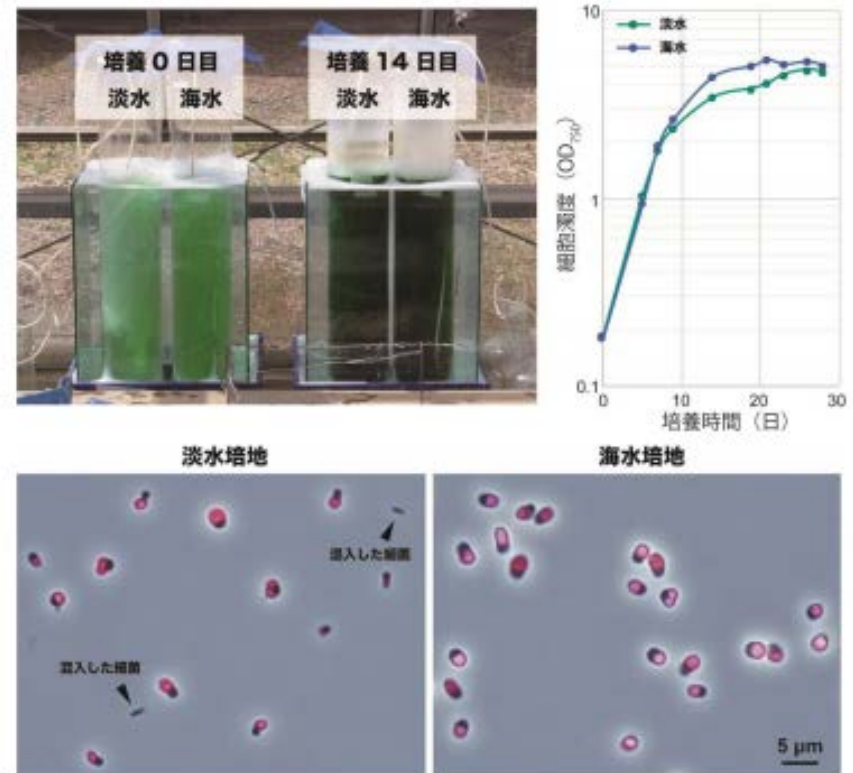


図 2: 淡水培地と天然海水培地におけるシゾンの屋外開放培養とその比較

それぞれアリットルの淡水培地と天然海水培地に塩耐性を強化したシゾンを植え、14日間屋外開放培養した結果を示す。シゾンが、海水培地でも淡水培地と同等の速度でまた同等の密度まで増殖したことが分かる。一方で、海水培地では細菌が混入していない。

関連トピックス：微生物によるバイオマス変換

■ 光照射により細胞の代謝を自在に制御

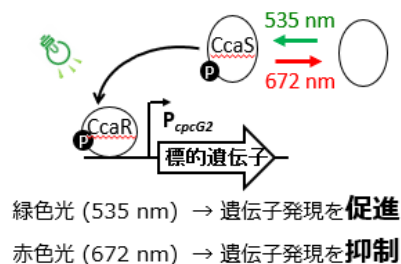
清水・戸谷ら（Metabolic Engineering, 2019）

- 細胞の中核代謝経路の流れを光照射により制御する技術を開発。
- 従来は培養液中に薬剤を加えることで代謝を調節していたが、加えた薬剤を除去することはできないため、スイッチのオン-オフを繰り返して制御することはできなかった。
- 今回、光によって形態を変えるタンパク質を導入し、オン・オフ可能な光照射を入力とした可逆的な遺伝子発現スイッチとして利用することにより、代謝を動的に制御することを可能にした。
- 目的物質の収率や生産速度の向上のために代謝経路の流れを理想状態に近づけるファインチューニングのための基礎技術として期待。

オプトジェネティクススイッチ

光によって形態を変えるタンパク質を利用
(可逆的に制御できる)

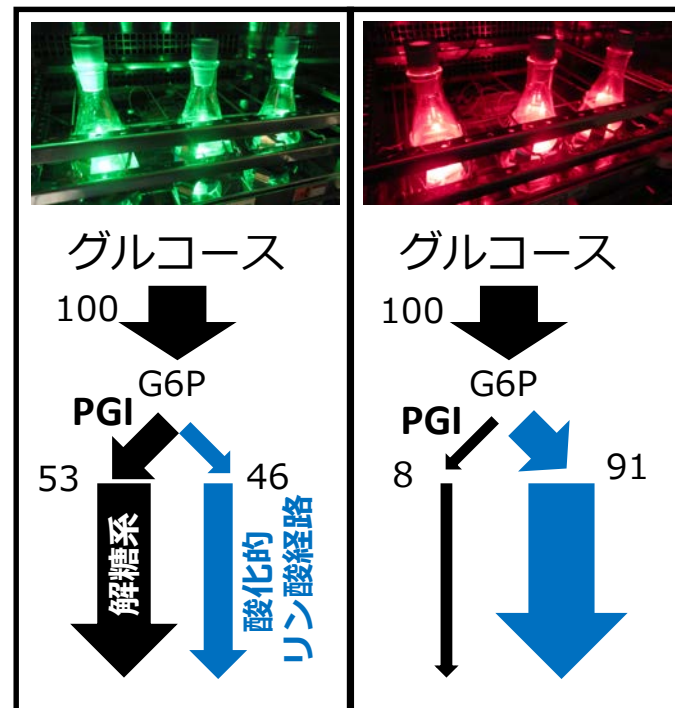
外部から任意の光を照射できる



本研究の目的

- On-Offが可能な外部からの光照射を入力とした**可逆的な**遺伝子発現スイッチを代謝制御に応用
- EMPとOPP経路の流れの比率を光で制御

出所：大阪大学大学院情報科学研究科・清水浩教授・戸谷吉博准教授らによる記者説明資料（令和元年6月）、JSTnews2019年9月号



論文数動向からみる研究開発動向：農地炭素貯留（バイオ炭）

■ 文献数の年次推移（バイオ炭）



- バイオ炭は農業技術や環境浄化技術などとして注目され研究数も伸びている。一方、気候変動の緩和策としての認識は研究レベルでは十分に広まっていない状況。

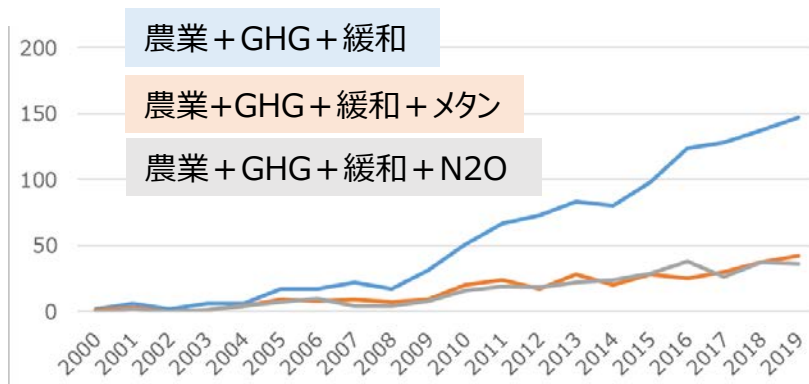
■ 国別順位（累積文献数上位10カ国）

機関名	文献数	機関名	文献数
中国	4274	中国	108
米国	1995	米国	101
豪州	764	豪州	48
韓国	552	ドイツ	48
ドイツ	520	英国	38
インド	459	スコットランド	31
カナダ	456	カナダ	25
パキスタン	410	イタリア	23
スペイン	399	スペイン	22
ブラジル	361	インド	17

- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2010年～2019年
- ドキュメントタイプ：Article、Review、Early Access

論文数動向からみる研究開発動向：メタン、N2O

■ 国別の文献数の年次推移（農業からのGHG排出低減）



■ 国別順位（累積文献数上位10カ国）

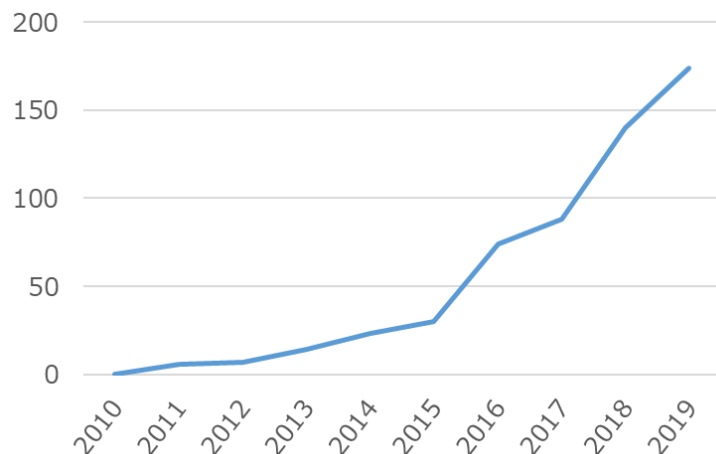
機関名	文献数	機関名	文献数	機関名	文献数
米国	301	米国	84	米国	74
英国	140	中国	51	中国	61
中国	137	豪州	45	豪州	37
ドイツ	130	カナダ	32	ドイツ	34
スコットランド	120	スコットランド	32	スコットランド	33
豪州	118	インド	30	英国	31
カナダ	83	英国	26	カナダ	29
フランス	72	ドイツ	26	インド	21
オランダ	72	オランダ	21	フランス	20
イタリア	65	フランス	19	ブラジル	15

- 農業由来のメタン、N2O排出に関する論文数はそれぞれ全体の約3割ほどを占め、残りの約4割はCO2関連と予想される。メタン関連、N2O関連の論文数はほぼ同ペースで増加。

- ・ 文献データベース：Web of Science Core Collection
- ・ 対象期間：2000年～2019年
- ・ ドキュメントタイプ：Article、Review、Early Access

論文数動向からみる研究開発動向：ブルーカーボン

■ 国別の文献数の年次推移（ブルーカーボン）



- 「ブルーカーボン」という言葉は、2009年に公表された国連環境計画（UNEP）の報告書「Blue Carbon」により広まったものであり、エマージングなキーワード。
- ブルーカーボンとは表現していないが関連が深い研究動向（沿岸域の保全関連研究や生態学的研究）は今回の範囲には含まれておらず、実際の研究の裾野はより大きいと予想される。

■ 国別順位（累積文献数上位10カ国）

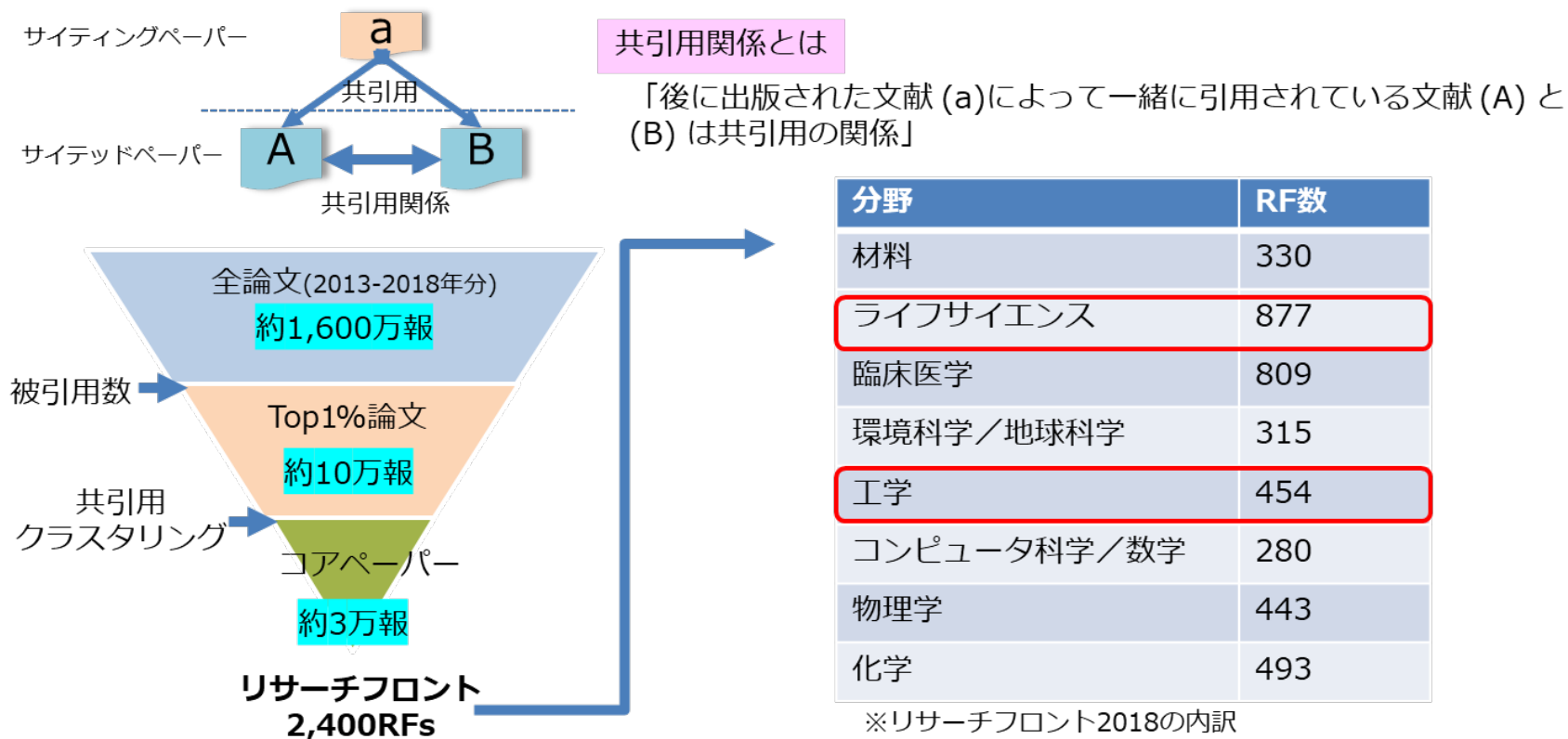
機関名	文献数
米国	186
豪州	160
中国	74
スペイン	57
英国	48
サウジアラビア	33
日本	30
ブラジル	29
ドイツ	27
カナダ	26

- 東京大学
- 港湾空港技術研究所
- 北海道大学
- 神戸大学
- 東北大学
- 琉球大学 など

- 文献データベース：Web of Science Core Collection
- 対象期間：2000年～2019年
- ドキュメントタイプ：Article、Review、Early Access

論文数動向からみる研究開発動向： リサーチフロント2018（RF2018）からの検討

- Top1%論文を共引用関係でクラスタリングを行う分析ツール「クラリベイト リサーチフロント」を用いて、対象期間内の全論文から新興・融合領域を見出す試みを実施。
- 各リサーチフロントは、5～50報の「コアペーパー」により構成される。コアペーパーの内容を分析することで、各リサーチフロントを特徴語によりラベリングが可能。
- 今回は、「ライフサイエンス」分野と「工学」分野の分析が可能なRF2018（2013-2018年の6年分の全論文）を対象とし、農業分野/吸収源に関連する動向を分析した。



「農業分野/吸収源」関連のリサーチフロント（RF）分析

- **2018年の工学分野RF**（454RFs）を16大グループ、121中グループに分類。
- **2018年のライフ（Basic life sciences）分野**（887RFs）を15大グループ、141中グループに分類。
- この中から「**農業分野/吸収源**」に関連する中分類として「バイオマス」、「ゲノム編集」、「植物バイオマス」、「水熱炭化」、「温室効果ガス排出」、「物質生産・分解」をピックアップしてRFを構成するコアペーパー（CP）を分析。

2018年RF大分類（RF数）	中分類（RF数）	主なRF
工学 エネルギー(83)	バイオマス(16)	バイオ燃料転換、バイオガス生産
ライフサイエンス 植物(105)	ゲノム/エピゲノム解析(15)	植物ゲノムワイド関連解析、遺伝的機能分析
	ゲノム編集 (3)	コムギ、イネ等の穀物のゲノム編集
	農業 (8)	穀物生産予測モデル、持続的集約生産
環境/生態(64)	植物バイオマス(2) ※	リグニン分解、バイオリファイナリー
	水熱炭化 (2)	ハイドロチャー燃料生産、バイオ燃料へ変換
	土壌 (4)	バイオチャーによる土壌改良、土壌成分分析
	温室効果ガス排出 (2)	細菌による家畜から温室効果ガス排出
※上記「バイオマス (16)」とRF1つが重複		
微生物(40)	物質生産・分解 (11)	バイオ燃料、物質生産、ゲノムマイニング

バイオマス関連のRF： 「バイオマス」（16RFs）、「植物バイオマス」（2RFs）、「水熱炭化」（2RFs）

■ 各RFを構成するコアペーパー（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
バイオマスの水熱液化による液体燃料生産 （木質バイオマス、藻類の熱水液化）	10	米国	4	中国	3	デンマーク	1
バイオマスの水熱炭化による燃料化（農業産業廃棄物）	5	イタリア	3	米国	1	スペイン	1
水熱炭化を利用した下水スラッジからのチャーの生産 （固体バイオチャー燃料）	5	シンガポール	3	中国	2	—	—
リグノセルロース系バイオマスのバイオ燃料変換	11	米国	3	フランス	3	インド	3
嫌気性スラッジからのメタン生成	13	米国	7	中国	5	イタリア	1
バイオディーゼルの副産物としてのグリセロール活用 （水素生産等）	13	マレーシア	6	中国 台湾 イタリア 他	1	—	—
リグニンのバイオリファイナリーによる処理と付加価値	23	米国	9	オランダ	4	中国	3
バイオマスからの燃料と付加価値物質（レブリン酸）生産	8	米国	3	中国	2	英国	1

- ・関連RFのうち半数以上がバイオマスからの固体・液体燃焼生産や燃料変換に関する研究。
- ・米中が上位に多いが、他の農業国や東南アジアの国でも研究が活発。

バイオマス関連のRF： 「バイオマス」（16RFs）、「植物バイオマス」（2RFs）、「水熱炭化」（2RFs）

■ 各RFを構成するコアペーパー（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
下水汚泥、スラッジの燃焼・ガス化特性	5	フランス	2	中国	1	スペイン	1
ディーゼルエンジンのバイオ燃料混合の影響	27	中国	6	トルコ	5	インド	5
藻類・植物プランクトンと細菌の相互作用	5	米国	2	スペイン	2	韓国	1
エネルギー作物の生産の影響	6	米国	5	英国	1	—	—
バイオマスエネルギーのサプライチェーン モデリング・最適化	7	米国	3	カナダ	2	ベルギー	1
バイオ燃料を中心とするエクセルギー経済分析	6	イラン	5	カナダ	1	—	—

- 燃料使用時の問題に関する研究、微細藻類やエネルギー作物の生育等に関する研究、あるいはLCAや経済分析に関する研究もRFを形成。
- 米中以外の国でも研究が活発。

植物を対象としたゲノム編集関連のRF : 「ゲノム編集」 (3RFs)

■ 各RFを構成するコアペーパー (CP) の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
穀物におけるゲノム編集技術	37	米国	18	中国	14	ドイツ	4
種々のゲノム編集技術(含CRISPR/Cas)を用いた植物の改変	9	米国	6	中国	2	デンマーク	1
PPRタンパク質によるRNA編集、構造メカニズム解析	5	豪州	2	日本 米国 ドイツ	1	—	—

- 対象としてはムギ、イネ、トウモロコシ、モロコシ（穀物）、ジャガイモ（イモ類）、トマト、スイカなどが見られた。モデル植物ではシロイヌナズナ、タバコ、ポプラなど。
- CRISPR/Cas等に次ぐ新たなゲノム編集技術として注目されるPPRタンパク質を用いたRNA編集等に関する研究では、豪州が存在感を示すが、日本の研究も上位に位置。CPとなった論文は、九州大学・中村らによるもので、植物のオルガネラRNA編集に関与するPPRタンパク質のRNA認識コードの解明に関する研究。

微生物関連のRF : 「物質生産・分解」 (11RFs)

■ 各RFを構成するコアペーパー (CP) の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
水熱液化によるバイオ燃料の生産 (微細藻類、木質バイオマス)	10	米国	4	中国	3	英国 オランダ デンマーク	1
シアノバクテリアの代謝を活用した、二酸化炭素からバイオ燃料への変換	6	米国	4	オランダ	2	—	—
余剰活性汚泥などの嫌気性生物処理及びメタン発酵の阻害要因など	7	中国	6	豪州	1	—	—
菌体間直接電子移動による共生とメタン生成	13	米国	7	中国	5	イタリア	1
微生物によるバイオガス生産とメタゲノム解析	5	デンマーク	4	米国	1	—	—
酵母によるバイオ燃料、脂質などの有用物質生産、 CRISPR-Cas9によるゲノム編集	14	米国	10	スウェーデン	2	英国 フランス デンマーク	1
ゲノムマイニングによる微生物新規有用代謝産物の発見	6	米国	3	英国 ドイツ オランダ 他	1	—	—
海洋藻類の遺伝子操作技術の開発 (遺伝子操作による脂質の増産)	5	中国	2	米国	2	ノルウェー	1
遺伝子工学的手法等を用いた種々の微生物による物質生産 (バイオポリエステル等)	6	中国	2	スペイン	2	フランス オーストリア	1
カビや細菌由来の溶解性多糖モノオキシゲナーゼ	18	英国	5	ノルウェー	4	米国 フランス デンマーク 豪州	2

微生物関連のRF : 「物質生産・分解」(11RFs)

■ 各RFを構成するコアペーパー (CP) の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
						英国	

- 大半が、微生物を活用したバイオ燃料や有用物質への変換に関する研究、およびその微生物に関するゲノム解析やゲノム編集に関する研究。
- 米国が圧倒的に多く、次いで中国、欧州各国という順位となっていた。

酵母によるバイオ燃料、脂質などの有用物質生産、CRISPR-Cas9によるゲノム編集	14	米国	10	スウェーデン	2	英国 フランス デンマーク	1
ゲノムマイニングによる微生物新規有用代謝産物の発見	6	米国	3	英国 ドイツ オランダ 他	1	—	—
海洋藻類の遺伝子操作技術の開発 (遺伝子操作による脂質の増産)	5	中国	2	米国	2	ノルウェー	1
遺伝子工学的手法等を用いた種々の微生物による物質生産 (バイオポリエステル等)	6	中国	2	スペイン	2	フランス オーストリア	1
カビや細菌由来の溶解性多糖モノオキシゲナーゼ	18	英国	5	ノルウェー	4	米国 フランス デンマーク 豪州	2

土壌炭素貯留・温室効果ガス排出抑制関連のRF：「温室効果ガス排出」（2RFs）

■ 各RFを構成するコアペーパー（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
家畜内の反芻胃に存在するルーメン細菌によるメタンガス放出	17	米国	4	ニュージーランド 豪州 カナダ イスラエル	2	中国 ドイツ フランス 他	1
食生活の変化が温室効果ガスの排出に及ぼす影響、解析	11	スウェーデン 英国	3	米国	2	フランス オランダ スコットランド	1

- 家畜によるメタンガス放出に関する研究が1つのRFを形成。

土壌炭素貯留・温室効果ガス排出抑制関連のRF： リサーチフロント2019から「土壌炭素」（2RFs）

2019年RF大分類（RF数）	中分類（RF数）	主なRF
環境／生態系 元素循環(4)	土壌炭素（2）	農業土壌における有機ストック、 気候変動に対する土壌炭素
	窒素循環（1）	持続可能な農業生産のための窒素管理
	希土類・レアアース（1）	希土類元素

■ 各RFを構成するコアペーパー（CP）の最終著者所属国のTOP3

RFラベル	CP数	1位		2位		3位	
		国	CP数	国	CP数	国	CP数
気候変動に対する土壌炭素	5	米国	4	オランダ	3	—	—
農業土壌における有機ストック	6	フランス	2	米国 英国 ドイツ ベルギー	1		

- ・「気候変動に対する土壌炭素」は、土壌炭素貯蔵量の温暖化による変化の分析や、土壌炭素フィードバック（土壌中炭素が気候変動に及ぼす影響）の管理、予測に関するRF。米国、オランダが中心。
- ・「農業土壌における有機ストック」は、土壌による温室効果ガス吸収に関する研究や、農地含む土壌の炭素貯留量の推定やポテンシャル評価の研究に関するRF。米国、欧州各国が中心。

【参考資料】

未来社会創造事業（低炭素社会領域）研究開発課題

雑種強勢の原理解明によるバイオマス技術革新 (佐塚 隆志 名古屋大学 准教授)



目的：バイオリファイナリーと飼料のカスケード利用として使える国産バイオマス作物のF₁、純系品種を開発

背景と課題

- 農林業における二酸化炭素吸収源の確保は、化学プロセスと共にCO₂固定の有力手法の一つ。
- イネ科作物ソルガムの高バイオマス型F₁は典型的な雑種強勢を示す作物であるが、そのメカニズムは明らかでない。またそのF₁種子生産では、3つの系統を栽培する必要があるため、労力とコストがかかる。
- この遺伝的メカニズムを解明することで、雑種強勢を再現した純系の創出を目指し、種子生産に要する労力、コスト、時間の1/3減を目指す。
- 搾汁糖液のリファイナリーによる有効利用によって、ソルガム栽培の高付加価値を目指す。

低炭素社会、社会・産業への貢献

- 2050年までに休耕地の半減、耕作不適地の20%減を目指すことで、低炭素社会に貢献。
- 国産バイオマス作物品種の開発によって、循環経済、自律分散型社会への移行や、エネルギーや原材料の安全保障・安定供給にも貢献。

雑種強勢
関連遺伝子

FD1
FD6
dw1
dw3
dwX
dw7a

高バイオマス
雑種強勢に
「必要十分な」
遺伝子組合せ

qSuc
qHex
...
...

純系やF₁に
集積

本プロジェクト
で明らかにする
新規遺伝子

他のF₁作物へも応用

雑種強勢が純系で
再現される！（予想図）



高バイオマス
イノベーション

二酸化炭素削減

<第3回WGテーマと関連するLCSの政策提案書の俯瞰>

	展望・シナリオ・ロードマップ	経済性・コスト・市場性	個別技術課題
バイオマスによる原料転換技術の開発	バイオマス廃棄物のメタン発酵 Vol.4 発酵槽の2段化などの合理化と水素発酵の検討 Vol.2 プロセスの合理化をめざして Vol.3 反応解析によるプロセス合理化の検討 Vol.1 着手段階 藻類からの燃料油製造 ーCO₂排出量と経済性評価ー バイオマスのガス化ガスおよび捕集CO₂を利用したメタノール、液体燃料の生産		
林業最適化	木質バイオマスエネルギーポテンシャルの地域分布 Vol.3 木質バイオマス総生産コストの低減 Vol.2 不均一に分布する人工林の伐採作業のコスト Vol.1 分布と考察 木質バイオマス燃料のコスト低減 Vol.2 木質バイオマスの生産総コストとその低減策 Vol.1 林業素材生産コストの機械化推進による低減効果 持続的な林業生産を得るための提案 造林コスト低減のためのコンテナ苗の活用 林業の活性化を通じた地域における低炭素社会の実現ー木材チップ等の製造コスト検討ー		