6. 環境貢献技術の創出

ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES

6.1 環境対策に関する研究活動

SDG 2（飢餓）
11（都市）
13（気候変動）

（1）天からの手紙を取りに行く高層気象観測機器の開発

大学院創成科学研究科　農学系学域　生物資源環境科学分野　教授　鈴木　賢士

大雨をつくる雲の中にはさまざまな微物理プロセスが存在している。0℃より上空では主に固体降水粒子がサイズや形を変えながら分布している。水蒸気から昇華成長した氷晶に過冷却雲粒が着氷することで霰がつくられる。霰や氷晶は雷発生に密接に関係しており、大雨にも雷と伴うものと伴わないものがあることは知られているが、そのメカニズムはまだよくわからないことも多い。また、予測モデルでは、降水粒子の密度として、氷晶や雪は0.1g/cm^3、雹は0.9g/ cm^3、霰は0.4g/ cm^{3}を用いることが多いが、その形成プロセスによって密度は大きく変化する。固体降水粒子が落下・融解して雨をつくることを考えると粒子の密度の知見が大事であるが、実際の雨雲の中で固体降水粒子の密度を直接測定する術はない。どのプロセスがどのように効率的に大雨をつくるのか、我々はまだ明確な答えを持っておらず、豪雨をつくる雲物理過程の理解は古くて新しい課題である。

「雨雲の中で水蒸気を効率よく水に変えて地上に落とす（大雨をつくる）メカニズムは何か」「そのメカニズムは温暖化が進んだ将来、雨量の記録をどこまで更新されるのか」「雷の鳴る豪雨と鳴らない豪雨では何が異なるのか」といった問いに対して、積乱雲内の固体降水粒子形成に焦点を絞って、現場ゾンデ観測からアプローチする中で、我々は、雪や霰といった粒子画像を鮮明に撮像でき、さらにはその粒子の落下速度が測定できる気球搭載型粒子撮像ゾンデ（Rainscopeと呼んでいる）を開発した（図6-1・2）。ゾンデとは探索というドイツ語を語源としている。気球搭載型粒子撮像ゾンデは、気球に取りつけ雨雲内に飛揚され、雲内に存在する雨滴や霰、雪といった降水粒子の鮮明な画像を地上に送信し、粒子の輪郭や融解・凝集の様子がはっきりと認識できる画像取得を可能にした（図6-3）。さらに、その降水粒子個々の落下速度も測定できる。落下速度は粒子の雲の中では直接測定できない固体降水粒子の密度を議論するのに役立つ情報である。Rainscopeによる固体降水粒子の鉛直分布の直接観測は、大雨をつくる微物理プロセスの解明に貴重な情報を与える強力なツールとして期待されている。



図6-1　粒子撮像ゾンデRainscope放球の様子（熊本県阿蘇にて）

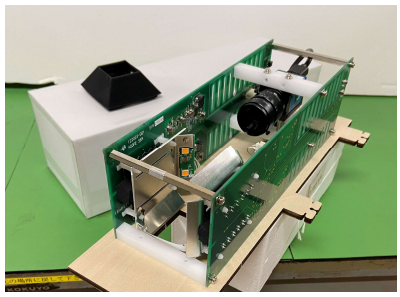


図6-2　粒子撮像ゾンデRainscopeの内部

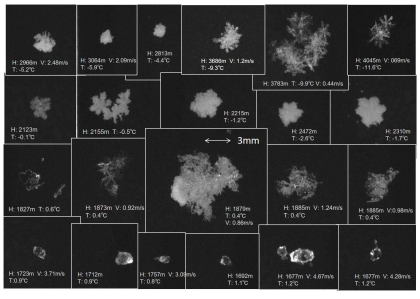


図6-3　粒子撮像ゾンデRainscopeにより得られた実際の雲内の固体降水粒子画像

SDG　2（飢餓）
12（生産消費）
15（森林保護）

（2）アブラムシ種間で共通する吸汁行動を利用した、植物の食害抑制に向けた研究

大学院創成科学研究科　理学系学域　生物学分野　助教　工藤　愛弓

様々なアブラムシが、多種多様な植物に寄生します。アブラムシは、数個体から時には数百個体の群れを形成して植物から吸汁するため、農作物や園芸作物などに深刻なダメージを与えることがあります。特に農業分野では、作物の収量や品質の低下を引き起こす重要な害虫として知られており、その防除は長年の課題となってきました。しかし、従来の化学農薬に依存した対策は、環境負荷や生態系への影響、さらには抵抗性個体の出現といった問題を伴います。そのため、より持続可能で環境にやさしい防除技術の開発が強く求められています。

こうした背景の下、アブラムシがどのように植物を認識し、どのような行動によって効率的に植物から吸汁しているのかを解明することは、基礎科学のみならず応用面でも極めて重要です。そこでまず、野外において様々な種類のアブラムシの行動を詳細に観察しました。その結果、種や寄主となる植物が異なるにもかかわらず、ほとんど全てのアブラムシが植物の茎状で下向きの姿勢をとって吸汁しているという、興味深い共通性が明らかになりました（図6-4）。この一見単純な行動には、なんらかの機能的な意味があると考えられます。

さらに、その要因を明らかにするために、室内実験において植物の向きを人為的に操作しました。すると、アブラムシは重力ではなく、植物が持つ内因的なシグナルを手がかりとして、常に根側（下方向）を認識し、それに応じて姿勢を調整していることが示唆されました。この発見は、アブラムシが単なる受動的な吸汁者ではなく、植物の内部状態を把握し、巧みに利用する高度な行動戦略を備えていることを意味します。

また、このような吸汁姿勢が複数の種に共通してみられることは、進化的に保存された効率的な吸汁メカニズムの存在を示唆します。すなわち、下向きの姿勢をとることで吸汁効率が高まる可能性があり、これがアブラムシの生存や繁殖に大きく寄与していると考えられます。本研究の成果は、アブラムシの行動を標的とした新たな防除技術の開発につながる可能性を秘めています。

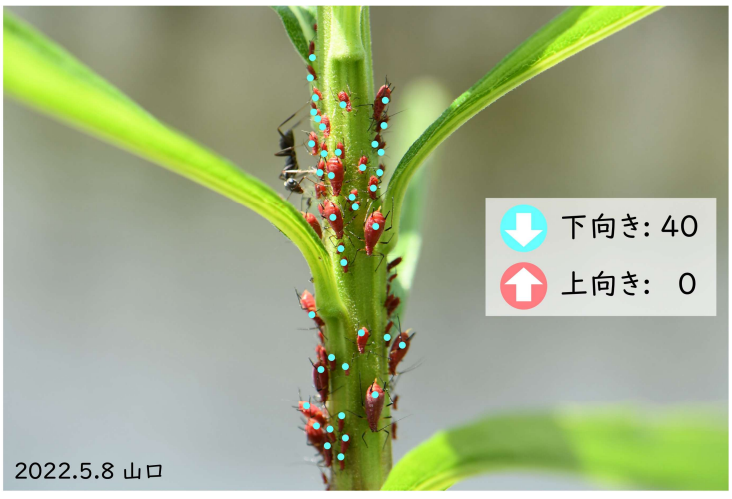


図6-4　アブラムシが植物の茎状で下向きの姿勢をとって吸汁する様子

SDG　3（保健）
9（イノベーション）
12（生産・消費）

（3）プラスチック問題を緩和する新たなグリーンテクノロジー

大学院創成科学研究科　工学系学域　応用化学分野　教授　西形 孝司

近年、プラスチックの環境汚染問題が顕著になってきている。プラスチックは安全で安心な材料に思えるが、実はそうでもない。皆さんは使い終わったプラスチックがどうなるか、考えたことがあるだろうか？本稿では最近のプラスチック問題と、本学から開発された新たなプラスチック問題解決のためのグリーンテクノロジーを紹介する。

世界のプラスチック市場は急速な拡大を続けており、2022年の5,994億米ドルから2030年末までに7,569億米ドルに達すると予測されている。生産量も2019年の約4億トンから2050年には約25億トンへと急激な増加が見込まれる。これらの数値は、プラスチックが現代社会に不可欠な存在である一方で、その問題解決が容易でないことを示している。

現在の最大の問題は、プラスチックの「安定しすぎる性質」にある。一般的なプラスチック製品の寿命は100年から数千年という驚異的な長さを持ち、自然界に流出した場合の完全除去や自然分解は事実上不可能である。1950年以降、プラスチックの総生産83億トンのうち63億トンが廃棄され、そのうちリサイクルされているのはわずか9%にすぎない。残りの79%は埋め立てられ、真の意味での資源循環が実現されていないのが現状である。

日本における2022年の廃棄プラスチック814万トンの内訳を見ると、サーマルリサイクル(プラスチックを燃やして電気エネルギーに変える)62%、マテリアルリサイクル（プラスチックを再成形）22%、ケミカルリサイクル（プラスチックを分子レベルで素材に戻す）3%、単純焼却7%、埋め立て6%となっている。（図6-5）サーマルリサイクルは商業的に優れた手法であるが、温室効果ガスの発生と炭素資源循環の観点から必ずしも持続的ではない。マテリアルリサイクルも再生回数に限界があり、最終的にはサーマルリサイクルに回される運命にある。ケミカルリサイクルが、最も理想的な資源循環手法であるが、堅牢なプラスチックを分子レベルで分解できる化学反応技術が不足している。

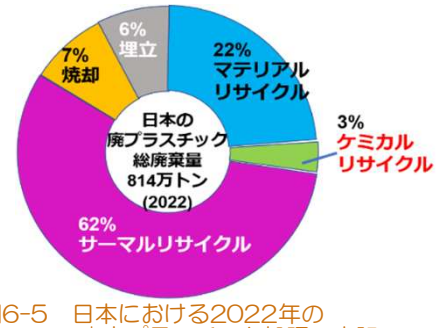


図6-5　日本における2022年の
廃棄プラスチック処理の内訳

そこで、著者らはプラスチックをケミカルリサイクル前提の新たな構造に再設計する技術を開発した。この手法の核心は、通常状態では堅牢な化学結合でありながら、光駆動電子移動反応により特定条件下で分解可能な「コアブロック」を持つ高分子の設計である。すなわち、プラスチックに目的とする機能のほかに、分解性をプログラムする技術である。分解後の化学物質は新たなプラスチックの原料になる(モノマーリサイクル)、そして、別な化学原料（アップグレード品）を生み出すこともできる。（図6-6）

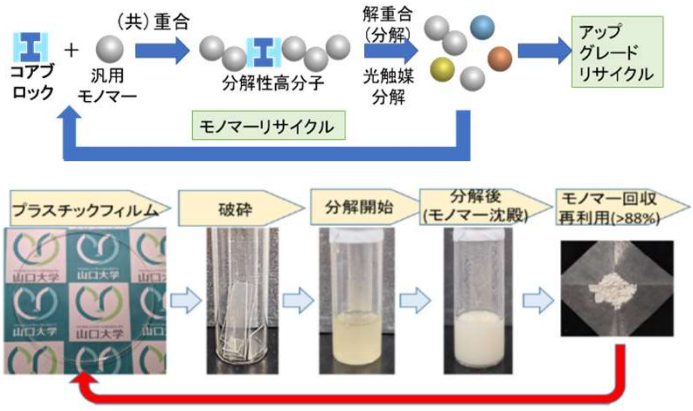


図6-6　プラスチックをケミカルリサイクル
前提の新たな構造に再設計する工程

現在、企業や国の支援を受けながら本技術の実用化に向けて、日々研究に取り組んでいる。おかげさまで、分解性を有するプラスチックの試験品の作成に成功し、それが確かに容易なケミカルリサイクル性を持つことを証明することができている。今後も、山口大学から地球を救う未来グリーンテクノロジーを開発していきたい。

SDG　7（エネルギー）
　　9（イノベーション）
　　13（気候変動）

（4）海水と淡水間の塩分濃度差エネルギーを電力に変換する逆電気透析発電

大学院創成科学研究科　工学系学域　化学系分野　教授　比嘉　充

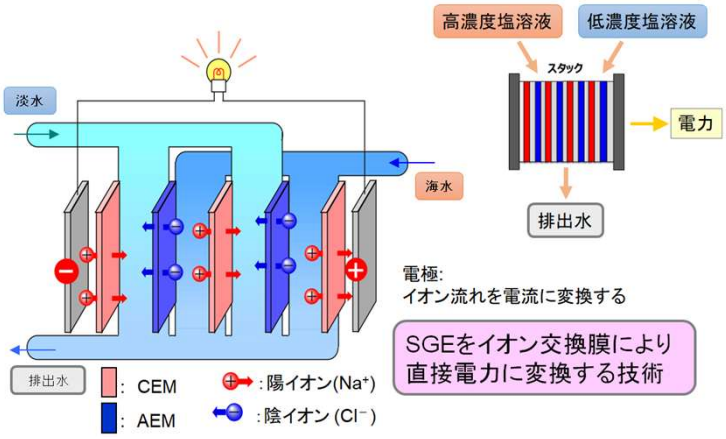


図6-7 REDスタックの構造と発電原理

新規再生可能エネルギーの１つに海水などの塩水と河川水などの淡水の間に存在する塩分濃度差エネルギー（Salinity Gradient Energy: SGE）を電力に変換する逆電気透析（Reverse Electro Dialysis：RED）発電があります。例えば1 m^3 の濃縮海水と1 m^3 の淡水を混合すると理論的に約1.8 MJ（＝500Wh）のエネルギーが発生すると試算されています。SGEの高効率な電力変換が可能になれば、風力発電や太陽光発電にはない、高稼働率、小設置面積という利点を有し、周りを海に囲まれた我が国に適した純国産エネルギー源が得られます。RED発電装置には陽イオン交換膜（CEM）と陰イオン交換膜（AEM）と電極で構成されたスタックを使用します（図6-7）。右下の写真に示すRED発電システムでは、模擬海水と模擬河川水をポンプで供給することで約50Wの電力が得られ、バイク用のLEDライトを照らすことが出来ます（図6-8）。

RED発電は、塩水と淡水を供給すれば理論的には24時間、365日稼働します。86,000㎥/hの海水と淡水を供給するREDプラントでは 400 台の 50 kW スタックが稼働し、17 MW の電力が得られると試算されています。また想定される設置面積は太陽光発電の50分の１、風力発電の約200分の１であり、 地下設置も可能であるため、 電力消費地である大都市近郊への設置が容易という利点があります。私たちはこの100%国産エネルギーで、環境負荷が少ないRED発電の開発研究を通して、我国のエネルギー問題への解決に貢献したいと考えています。



図6-8　RED発電システム

6．環境貢献技術の創出

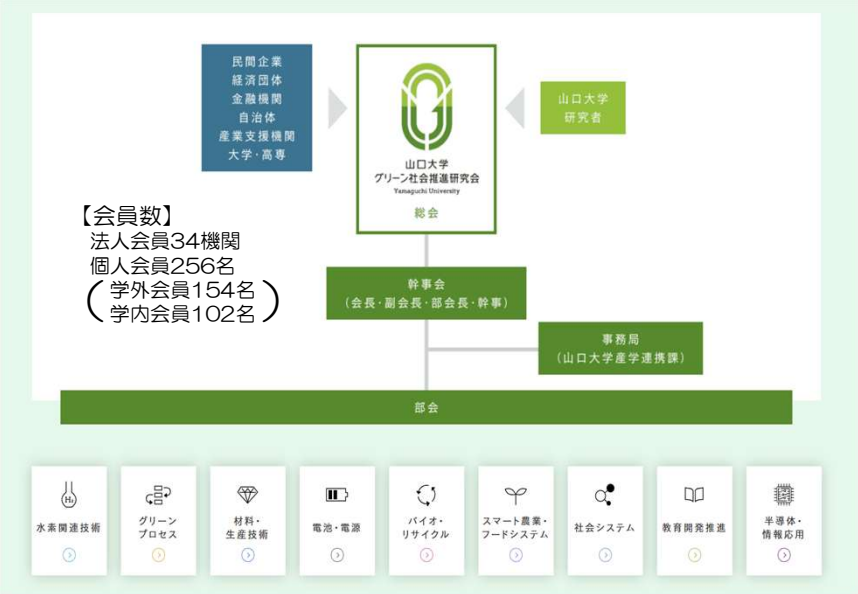
6.2　グリーン社会推進研究会の活動

【グリーン社会推進研究会とは】

山口県は温室効果ガス排出割合が大きい産業構造を形成しており、地域ゼロカーボンに向けた取組みが喫緊の課題となっています。

山口大学は、地域の基幹総合大学として、学内の叡智を結集し、人文・社会科学から自然科学までの「総合知」により、グリーン社会の実現に貢献したいと考え、グリーン社会実現のための基盤となる科学的知見を創出することを目的とした「山口大学グリーン社会推進研究会」を2022年に設立しています。

【研究会の組織体制】



【研究会の目標】

1．企業、自治体、産業支援機関、大学等が連携したネットワークを形成する
2．情報交換等の場の創出（研究シーズと地域社会・地域企業のニーズの棚卸し）
3．企業間や産学公連携による新たな研究開発等を推進する。
4．地域におけるカーボンニュートラル実現への貢献（ご当地プロジェクトの創出）



図6-9　材料・生産技術部会セミナー



図6-10　半導体・情報応用部会セミナー

【2025年度の活動】

2025.6　水素関連技術部会、電池・電源部会、グリーンプロセス部会　合同セミナー
2025.8　教育開発推進部会「山口県中学生パブリック・ディベート大会」
2025.8　半導体・蓄電池関連技術セミナー
2025.10　材料・生産技術部会セミナー
2025.11　材料・生産技術部会セミナー
2025.12　教育開発推進部会「山口県小学生パブリック・ディベート大会」
2026.2　半導体・情報応用部会セミナー

【2025年度のご当地プロジェクト例】

研究題目	事業名等
濃度差発電装置の設計と評価	戦略的イノベーション創造プログラム　SIP
フッ化物電池の研究開発、亜鉛負極電池の研究開発	RISING3
ナトリウムイオン電池用正極活物質の合成および特性評価	革新的GX技術創出事業　GteX
環境適合型ケミカルリサイクルを実現するソフトブレーク法開発	環境総合研究費　ERCA
江の川における置き土が環境に与える影響についての研究	国土交通省中国地方整備局
中性水電解用電極材料の放射光オペランド測定	革新的GX技術創出事業　GteX
アンモニア及び水素の燃焼挙動解明、低NOx、低N2O、低未燃アンモニア排出技術の開発	グリーンイノベーション基金
スルホニルイミドアニオン型シングルイオン伝導体の開発	革新的GX技術創出事業　GteX
インフラ症例データベース・セットの構築	戦略的イノベーション創造プログラム　SIP
脱炭素社会の実現に向けた次世代人材育成研究	山口県
分解及びせん断時の深海底メタンハイドレート堆積物の粒子破砕メカニズム	二国間交流事業
カンキツの樹勢・摘果評価システムの要素技術の開発	大学発新産業創出基金事業

入会のご案内

HPより　>>> https://ds0n.cc.yamaguchi-u.ac.jp/~yu_green/
お問合せ >>> 山口大学グリーン社会推進研究会事務局
Email：yu_green@yamaguchi-u.ac.jp　Tel：0836-85-9961

6.3　環境対策に関する修士論文・卒業論文

修士論文

地生態学的手法による表層崩壊の発生機構と発生場の推定

大学院創成科学研究科　地球圏生命物質科学系専攻　竹田　拓己

SDG
13（気候変動）
15（森林保全）

我が国では土砂災害の発生件数は増加傾向にある。自然災害を克服し、それと共存するためには諸現象を解明し、解決策を提案できる総合的な科学力が必要である。そのため、学問を細分化せず、植生・地形・地質・土壌・気象の諸現象を統合する地生態学的研究手法が有効である。

本研究では、平成30年7月豪雨で多数の表層崩壊が発生した岩国市周東町を対象に、植生ごとに降雨量、土壌水分量の連続観測と土壌層の物理特性、浸透特性や変形特性の調査を行った（図6-11）。これらの調査結果に基づく数値解析から、表層崩壊の発生機構と発生場を推定した。その結果、次の点が明らかになった（図6-12）。1）極めて小さい谷地形では、地下水位が地表面まで上昇しやすく、土層も厚くなりやすい。2）幼齢林では、特徴的な降雨浸透があり、根系の断面抵抗力が小さい。3）幼齢林の旧崩壊地で崩壊が発生しやすく、崩壊発生機構は地下水位の上昇と特徴的な降雨浸透に伴うと考えられる。



図6-11　気象観測装置と植生ごとの樹冠

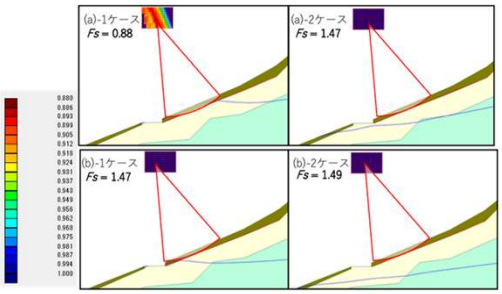


図6-12　地下水位と降雨による安全率の違い

修士論文

蛇紋岩中のホウ素の存在形態及び溶出特性

大学院創成科学研究科　地球圏生命物質科学系専攻　村尾　駿太朗

SDG
6（衛生）

我が国には自然由来の有害元素を含む岩石・土壌が広く分布しており、公共工事による発生土から有害元素の溶出量が環境基準値を超過する事例が顕在化している。ホウ素は土壌汚染対策法の規制対象のひとつであり、水質基準値が設定されている。近年、一部の蛇紋岩からその基準値を超過するホウ素の溶出が報告されており、地下水環境への影響が懸念されている（図6-13）。

本研究では、蛇紋岩中のホウ素の存在形態及び溶出特性の解明を目的として、建設発生土中の蛇紋岩試料について岩石試料の分析や溶出実験を実施した。その結果、以下の知見が得られた（図6-14）。1）蛇紋岩中のホウ素は、難溶性の蛇紋石中に多く含まれる。2）一部の蛇紋岩は、より溶出しやすい形態でホウ素が含まれる。3）蛇紋岩が風化するとホウ素がより溶出しやすい形態に移行する。以上のことから、蛇紋岩からのホウ素溶出による地下水汚染を防止するためには、岩石の風化対策が極めて重要であることが明らかとなった。



図6-13　建設発生土からのホウ素溶出

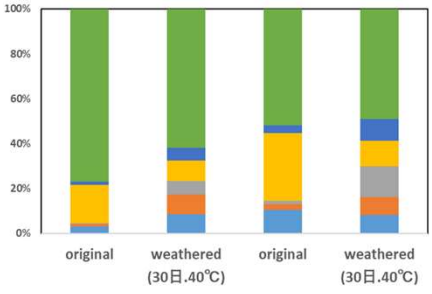


図6-14　風化による易溶性態への変化

修士論文

二毛作体系における発酵鶏糞を活用したコムギの多収高品質化施肥法の開発

大学院創成科学研究科　農学系専攻　　氏名　小久保　大地

SDG
2（飢餓）
11（都市）
12（生産・消費）
15（森林保全）



この研究では、山口県周辺の養鶏業で大量に発生する発酵鶏糞の活用を促進するため、コムギの栽培期間中に発酵鶏糞を追肥する施肥管理法を開発している。水稲ー麦類の二毛作耕作地では、水稲作前や麦作前に有機質肥料を施用できる期間が限られているため、十分な土壌改良材の施用ができず、pHや地力が低下した圃場も多い。従って、発酵鶏糞を栽培期間中に散布するだけで耕地の地力が高められるようになれば、小麦生産（品質や収量向上）にとっても、地域の資源循環にとってもwin-winの関係となる。

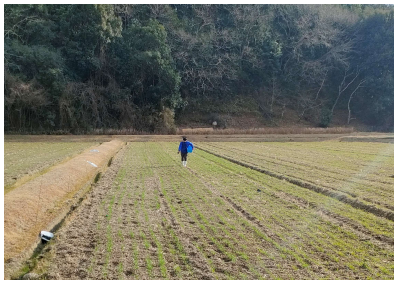


図6-15　地域の小麦生産者と共同研究を進める（写真は追肥作業）

栽培試験では、発酵鶏糞を追肥する適切なタイミングを特定することを目的に、11月～2月にかけて4回に分けて施肥して、追肥が最も収量を高める時期が2月であることを明らかにした（図6-15・16）。



図6-16　いざ、収量調査！

引き続き、窒素吸収効率や収量、品質が高まる発酵鶏糞施肥量を特定する試験や、発酵鶏糞に含まれる窒素の可給化特性を明らかにする試験を行っている。

卒業論文

トウモロコシの光合成型と非光合成型FdにおけるFNRとの電子伝達反応のpH依存性の違いを担う構造要因

農学部　生物機能科学科　石橋　七海

SDG
1（貧困）
7（エネルギー）
13（気候変動）
15（森林保全）



植物は、太陽光をエネルギー源として大気中の二酸化炭素や土壌中の窒素や硫黄の無機化合物から、自らの体を構成する生体物質を合成するしくみを持っています。このしくみは光合成と呼ばれ、これにより地球上の生物が養われています。

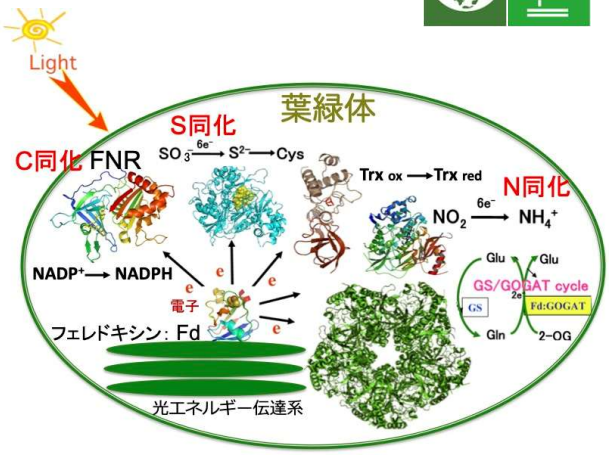


図6-17　光合成で働く生合成反応を制御する仕組み

本研究室では、このような光エネルギーで駆動される様々な生合成代謝間のバランスが、臨機応変に調節される仕組みを、エネルギー供給を構成する蛋白質や代謝酵素の原子レベルの構造に基づいて解明することを目指しています（図6-17）。

研究成果では、遺伝子組み換え技術を用いて、光合成の電子伝達系の末端でエネルギー生産に関わる２つの蛋白質(FdとFNR)の機能が、光の強さを反映するpHの変動によって制御されていることを明らかにしました。そして、この制御は葉っぱに存在するFd分子種と根っこに存在するFd分子種とでは真逆の様式であることを見出しました。この成果は、植物個体の生育の緻密な制御に役立つと考えています。

卒業論文

キャンパス内全建物を対象としたエネルギー消費の特性評価

工学部　感性デザイン工学科　　江藤　澄香

SDG 7（エネルギー）

本研究では、常盤キャンパスとキャンパス内全建物を対象にエネルギー消費特性を分析した。既往研究の電気とガスの消費量に加えて、電気設備単線結線図を整理して系統を明らかにし、サーバーに保存されている電力消費量時刻別データを分析に用いた点が特徴である。

月別の時刻別電力負荷曲線（図6-18）は学内活動に応じて変動し、平日ピーク消費量は休日の約1.7倍であった。系統別では太陽光発電により消費量が低減するなどの差異が認められた。開講日の日電力消費量（図6-19）は日平均外気温と明確な相関が見られ、17℃付近の最小値に対して高温域および低温域で増加した。一方、休講日の高温域では研究活動の継続日と学内活動の減少日が混在して消費量が二分化し、低温域は研究繁忙期と利用減少期の混在でばらついたと推察される。

今後は建物内各室の利用実態を調査して省エネルギー実効性の高い対策を検討し、施策として提案することが重要と考える。

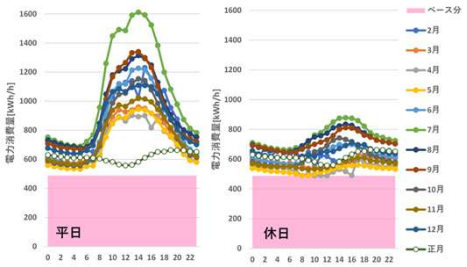


図6-18　月別の時刻別電力負荷曲線

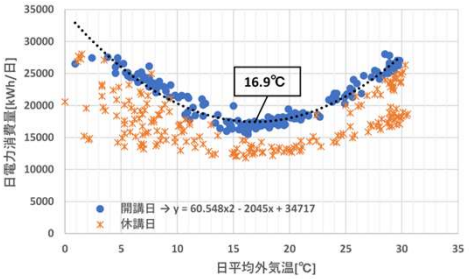


図6-19　日電力消費量と日平均外気温の関係

卒業論文

風力および太陽光発電電力調整機能を有する独立型ハイブリッド発電システム

工学部　電気電子工学科　　篠塚　圭一郎

SDG　7（エネルギー）
9（イノベーション）

気候変動の影響による洪水や大規模地震による災害などによってライフラインに影響を及ぼすことがある。重要なライフラインの一つである電力について、非常用電源を保有、あるいは、電源を確保可能な避難所は70%弱にとどまり、再生可能エネルギー源を持つ避難所は約6%しかない。燃料が不要で、継続的に電力供給が可能な非常用電源は必要であるが、発電の不安定性が課題となる。

本研究では、蓄電池を有する風力および太陽光発電のハイブリッド発電システムについて検討を行う。ハイブリッド発電とした場合に、システムに余剰電力が生じないように、発電電力を自動調整可能な電力調整機能を提案している（図6-20）。

発電システムを計算機シミュレータ上でモデル化し、シミュレーションにより蓄電池の要求電力に等しい発電電力に調整できることを明らかにした（図6-21）。

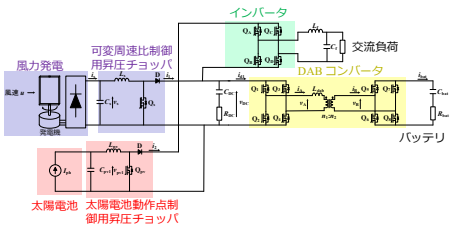


図6-20　ハイブリッド発電システムの構成図

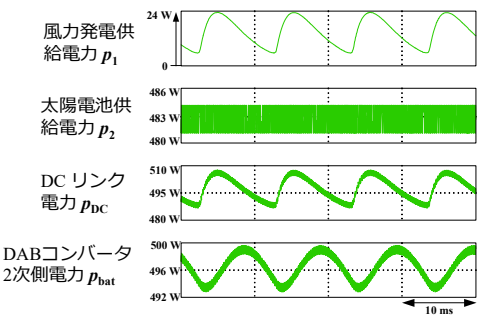


図6-21　シミュレーション結果