

Introduction of Research Group

筑波大学 内山・岡島研究室



研究室バーベキューにて

1. はじめに

筑波大学は、都心から北東へ約 60 km 離れた筑波研究学園都市に位置している。メインキャンパスの筑波キャンパスと旧図書館情報大学のある春日キャンパスをあわせると南北に約 5 km, 東西約 1 km に広大で緑豊かなキャンパスを有している。キャンパスは隣接地に対して開放的に設計されており、他大学のキャンパスのような塀や正門などが無い。一般車のキャンパス内道路の通行は自由なのである。キャンパスの周辺も自然豊かで、バーベキューも大学の近くにて手軽に楽しめる。

かつては都内から一日掛かりで行く場所であったが、2005年につくばエクスプレスが開通し、秋葉原から快速に乗ると45分につくば駅へ到着するようになった。研究室のある総合研究棟 B は中地区と呼ばれるキャンパス中央部に位置する。広大なキャンパス故、つくば駅からキャンパス入り口までの所要時間よりも、続くキャンパス内での所要時間の方が長く、最初は戸惑ったことを覚えている。

2. 研究室の構成

内山・岡島研究室は一応はそれぞれ独立した二つの研究室から構成されている。とは言うものの研究活動やゼミ合宿、歓送迎会など全て合同で行っている。内山洋司

教授、岡島敬一准教授の教員 2 名、事務補佐員 1 名の計 3 名のスタッフと、学部生 9 名、大学院博士前期課程 8 名、博士後期課程 3 名、の合計 23 名で、エネルギー問題を中心とした資源、環境、経済、技術の総合的システム分析研究を遂行している。

筑波大学は複雑な組織形態を有しており、内山教授、岡島准教授ともまず教員組織であるシステム情報系に所属し、大学院教育においてはシステム情報工学研究科リスク工学専攻を担当するという形態をとっている。学部教育においては内山教授が社会・国際学群国際総合学類の担当に加え、理工学群工学システム学類を兼任で担当し、岡島准教授は理工学群工学システム学類を専任で担当している。内山教授は他にも筑波大学産学リエゾン共同研究センター長を務めており、産学連携の推進にもあたっている。

3. 研究活動

産業と技術をエネルギー・経済・環境面 (3E) から総合的に分析し、エネルギーシステム・技術開発・政策に関して持続可能な発展のあり方を研究することをモットーとし、社会のニーズにあわせ多岐にわたるテーマに取り組んでいる。それらの中からいくつかの研究テーマについて簡単に紹介する。

(1)マトリックス法による環境負荷分析¹⁾

ループするフローを考慮した分析が可能であるマトリックス法を環境負荷分析に用いる方法論の開発を進め、製油所副生水素製造プロセスや燃料電池自動車のライフサイクル分析などの評価を行っている。

マトリックス法では製品システムの各プロセスの入出力が線形であると仮定している。この仮定により、各プロセスのインベントリは、各プロセスの活動量に比例することになる。各プロセスの入出力特性は式(1)のように列ベクトルで表わされる。 t は転置を表わす。

$$a_{ij} = (a_{ij} \cdots a_{mi})^t \quad (1)$$

a_{ij} はプロセス j に入出力される材料 i の物量を表わす。ここで、 f_i を材料 i のシステム境界での入出力量とし、製品システムのプロセス数を n とすると、材料 i は式(2)で表わされる物量バランスの式を満たす。

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} p_j = f_i \quad (2)$$

p_j はプロセス j の活動量を示す。全ての材料は式(2)で示した物量バランスの式を満たすので式(3)の連立方程式が導かれる。

$$Ap = f \quad (3)$$

式(3)で、 A はシステムのマテリアルフローを表わす行列であり、 p はプロセス活動量を表わす列ベクトルである。

材料数を m とすると、 $m = n$ であるとき、プロセス活動量ベクトル p は式(4)で求められる。

$$p = A^{-1}f \quad (4)$$

また、環境負荷行列を B 、製品システム全体から排出される環境負荷因子ベクトル β は式(5)で求められる。

$$\beta = Bp = BA^{-1}f \quad (5)$$

以上の方法で環境負荷を求めるには、 $m = n$ である必要があるが、実際の製品システムでは $m \neq n$ である場合がある。この場合、マテリアルフロー行列の正方化が必要となる。材料の分離、統合またはプロセスの統合、分離によって行列を正方化する。

マトリックス法を用いた評価結果の一例として、燃料電池自動車とガソリン自動車のCO₂排出原単位比較を図1に示す。図中のNGは水素製造装置(HPU)への投入原料

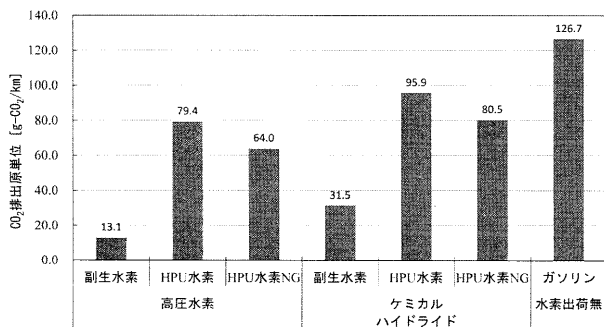


図1 各ケースの走行距離あたりのCO₂排出原単位

を天然ガス(NG)に変更した場合を意味している。HPU水素を利用する場合、HPUへの投入原料を天然ガスにすると燃料電池自動車CO₂排出原単位が15 g-CO₂/km低減できるという分析結果が得られた。このように、マトリックス法によりフィードバックフローを含む生産システムの環境負荷分析が可能となる。

(2)GISを用いた環境負荷分析, エネルギーポテンシャル分析^{3)~6)}

地理情報システム(GIS)はデジタル化された地図・地形データと、位置に関連した統計データなどを統合的に扱う情報システムで、当研究室ではGISを再生可能エネルギーの賦存量評価や地域別にみた各種汚染物質の曝露影響評価などへ展開している。これらにより地域レベルで資源利用ポテンシャルの推計が可能となる。

GIS活用研究の一例として、中国沿岸域主要地域におけるバイオマス賦存量評価ならびに地域バイオマス発電事業の輸送費用最小化による導入評価について紹介する。環境省環境研究総合推進費E-1001「アジア低炭素社会の構築に向けた緩和技術のコベネフィット研究」(平成22年度~24年度)の一部として、推進しているものである。分析モデルの概要を図2に示す。GISを用いて、バイオマスの利用可能量、および輸送距離を推計し、GISの推計から得られたデータを用いて輸送費用最小化問題を解き、輸送費用最小化問題の解を基に地域におけるバイオマス利用の費用便益分析を行うものである。分析結果の一例として、図3に農産バイオマス資源量の分布・設備立地点を示す。麦やトウモロコシの残渣が多く賦存する河南省、山東省では、バイオマスによる発電量の省内電力消費量に対する割合がそれぞれ23.0%、15.2%になり、バイオマス資源による発電ポテンシャルが非常に高く、視覚的にも示されている。

エネルギーの生産から消費までのフローを分析するためには、輸送距離、資源の量・種類といった、場所によって異なる空間的な要因の考慮が必要となる。このため、空間データを容易に扱えるGISは分析手段として適しており、メッシュ毎の自然エネルギー利用可能量や化石エネルギー産出量、メッシュ間の輸送距離の算出等のエネルギー

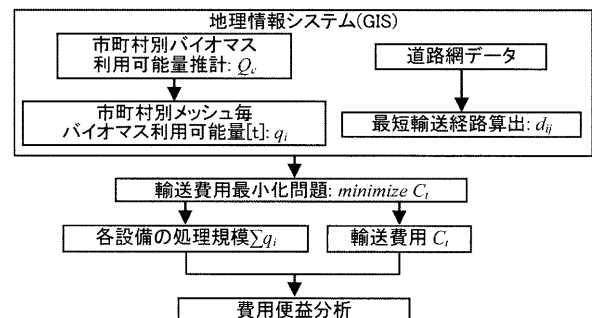


図2 GISを用いたバイオマス分析手法の概要

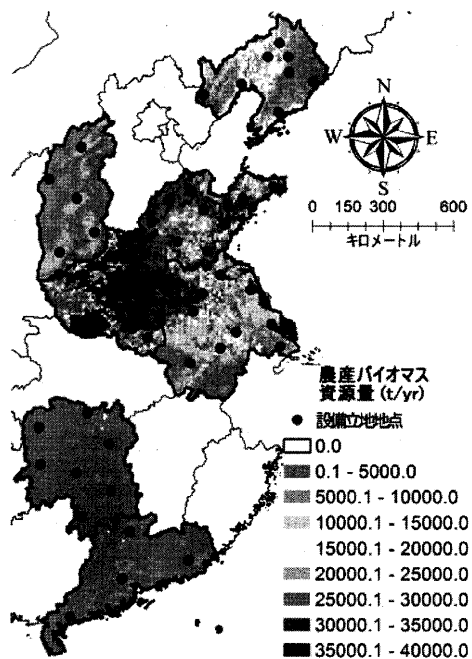


図3 バイオマス資源量の分布・設備立地地点

ギーフロー分析を展開できる。当研究室では他にも中国遼寧省を対象とした、主要都市域における集中型太陽光発電システムの導入評価や、中国全土を対象とした石炭フロー分析並びに先進火力発電技術導入効果、などについて評価を進めている。

一方国内については、低炭素社会の実現に向け、エネルギー環境面において地域の役割を明らかにすると共に、地域経済の活性化を図ることが重要であると考え、研究活動を進めている。一例として、つくば3Eフォーラム活動の一環としても取り組んでいる、茨城県における民生部門のCO₂を25%削減するのに必要な戸建住宅への太陽光発電(PV)システム導入量と導入率評価結果を図4

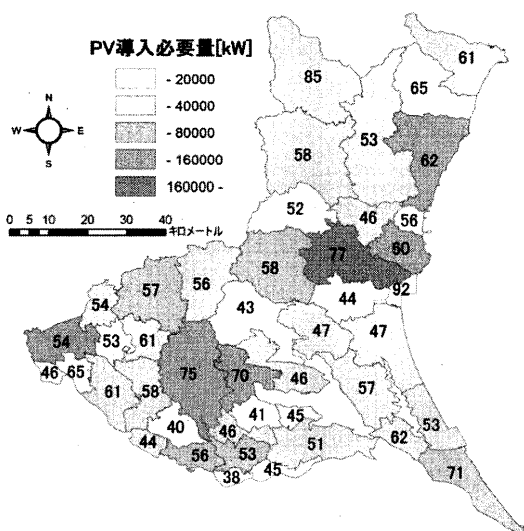


図4 茨城県における戸建住宅へのPV導入必要量、必要導入率(%)

に示す。

これらポテンシャル分析の他、風況・人口データと組み合わせた分析を行うことで、SO_xなど環境負荷物質の拡散・暴露量評価も行うことができ、当研究室ではこれまで上海や山西省を対象地域として先進火力発電技術の導入による環境負荷物質低減効果と外部性評価についても分析を進めてきている。

(3) 低温度熱源を組み合わせた純酸素燃焼型プロセス評価⁷⁾

燃焼型発電技術において発電効率の向上にはこれまで蒸気条件の高温高圧化やコンバインドサイクルのような複合化が中軸となってきた。新しい構想として、バイオマス・廃棄物焼却炉のように蒸気条件を高くとることができない低温度熱源を、従来型の火力発電と組み合わせることにより効率向上を図るという考え方がある。

当研究室では、低温度熱源と純酸素燃焼型システムを組み合わせたハイブリッド型発電方式を提案し、評価を進めている。これまで、低温度熱源で発生する蒸気を閉サイクル型純酸素燃焼LNG ガスタービンシステムの補助加熱に用いるシステムや、純酸素燃焼型IGCCと低温度熱源を組み合わせたシステム評価に取り組んできており、その概要の一部を紹介する。

低蒸気条件炉複合システムとして数方式のプラントを提案し、低蒸気条件炉寄与分の発電効率が従来発電方式の効率以上を達成することを主要な目標として、各種発電技術との複合化を検討した。評価を進めている提案型プラントの一つとして、図5に発展型純酸素燃焼ガスタービン発電プラントと低蒸気条件炉との複合化プラントの概要図を示す。提案プラントにおける低蒸気条件炉寄与分の発電効率は33.8~35.9%と、目標を超える値が得られた。提案プラント全体での発電効率は40.3~43.3%で、かつ複合化先発電技術寄与分の発電効率は41.7~48.2%となり、複合化のメリットが十分得られている。

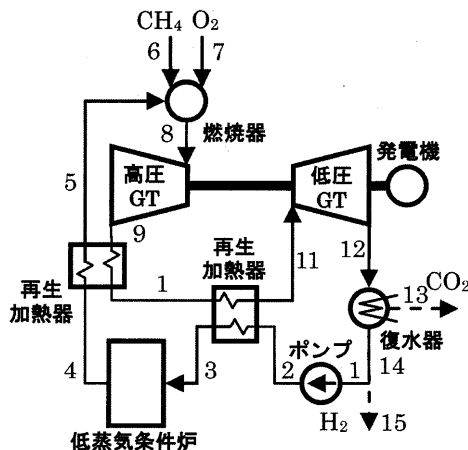


図5 複合化プラントの概要図

(4) 太陽光発電システム分析・信頼性評価^{8) 9)}

新エネルギーシステムの実際の導入にあたり、設備容量の規模だけでなく、ライフサイクルでの運用における発電電力量が重要となる。当研究室では太陽光発電システムならびに燃料電池発電システム等におけるシステム設備利用率の向上を主眼としてシステム運用評価・信頼性評価に取り組んでいる。その中から一部として太陽光発電 (PV) ミスマッチ損失評価とミスマッチ低減のための配線切り替え導入検討について紹介する。

PVの今後大量導入を想定した場合、樹木や建物による日陰の影響を受ける場所への設置も増加すると予想できる。このように、PVへの日射量が均一でない場合、アレイを構成するモジュールの単純出力合計より、アレイ出力の方が小さくなるミスマッチ損失が発生する。また、発電に寄与しないモジュールが負荷として発熱する可能性もあり、長期信頼性への不安要素ともなる。そこでPVを日射条件の悪い箇所への導入を想定し、配線切り替えを行うことでミスマッチ損失を低減させる、配線切り替えPVについて研究開発を進めている。

図6は実在のPVシステムに対し日影が生じるケースにおいてデータ収集・評価を行った際の写真である。日影は、対象システムの東側に存在する樹木によって発生しアレイの左側から右側にかけて移動する。このケースではPVモジュールが2枚ずつほぼ同時に出力低下し、標準偏差の1時間平均値0.8 A、最大値1.5 Aのばらつきが生じる。

これらミスマッチ損失に対し当研究室ではPVモジュール

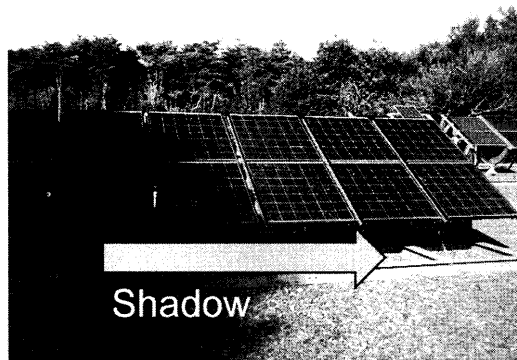


図6 3 kW フィールド PV システムにおけるミスマッチ評価

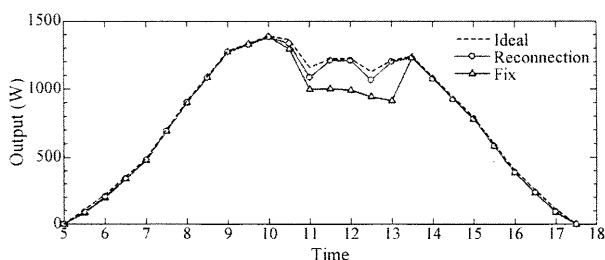


図7 固定配線と配線切り替えシステムの PV 発電量推移

ルの直並列を切り替える配線切り替えシステムを提案しており、日照下および模擬電源での有効性を評価・検証している。図7はPV模擬電源装置を用い、PVシステムの真南に電柱が存在する日影パターンに対して、実際に配線切り替えを行った場合の発電量評価結果例である。3枚のモジュールに日影がかかる13:00において、固定配線と最適配線の発電量の差が最大31.4%とに達する。この日中の日陰のみでも一日の発電量では配線切り替え導入によって5%の発電電力量の向上がもたらされる。

これらの他、PVシステムや燃料電池発電システムの不具合検出技術開発、フォルトツリー解析やPSA(確率論的安全評価)手法に基づくシステム信頼性評価、などについて取り組んでいる。

4. おわりに

当研究室は、“持続可能な発展”に向け環境・エネルギー問題から考えるための研究と人材育成を進めている。全てをここに記すには紙面が足りず、割愛した内容もまだまだあり、内山・岡島研究室に興味を持たれた方は是非ご来訪頂きたい。つくばエクスプレスに乗れば、筑波大学の意外な近さを実感してもらえよう。

文献: References

- 1) 角鹿誠真, 内山洋司, 岡島敬一, エネルギー・資源, **32**, 9(2011): Tsunoka, S., Uchiyama, Y., Okajima, K., *Energy and Resources*, **32**, 9(2011)
- 2) Samuta, H., Uchiyama, Y., Okajima, K., Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering (ICEE2011), p. A263(2011)
- 3) 岡島敬一, 上野博史, 内山洋司, 日本LCA学会誌, **6**, 295(2010): Okajima, K., Ueno, H., Uchiyama, Y., *J. Life Cycle Assessment, Jpn.*, **6**, 295(2010)
- 4) Okajima, K., Ueno, H., Uchiyama, Y., Proceedings of the International Congress on Green Process Engineering (GPE2011), p. 875(2011)
- 5) 田村聡, 内山洋司, 岡島敬一, 社会経済研究, **58**, 15(2010): Tamura, S., Uchiyama, Y., Okajima, K., *J. Socio Economic Res.*, **58**, 15(2010)
- 6) Okajima, K., Ishikawa, Y., Uchiyama, Y., Proceedings of the International Conference on Applied Energy (ICAE2010), p. 519(2010)
- 7) Oshima, K., Uchiyama, Y., *J. Energy and Power Eng.*, **4**, 24(2010)
- 8) Obane, H., Okajima, K., Ozeki, T., Ishii, T., *IEEE J. Photovoltaics*, (2012), in press
- 9) 岡島敬一, 羽倉瑞季, 大関崇, 太陽エネルギー, **36**, 63(2010): Okajima, K., Hakura, M., Ozeki, T., *J. Jpn. Solar Energy Soc.*, **36**, 63(2010)

連絡先：〒 305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
筑波大学 大学院システム情報工学研究科
リスク工学専攻
内山・岡島研究室
TEL/FAX：029-853-5134
<http://www.risk.tsukuba.ac.jp/uchiyamalab/>
<http://www.risk.tsukuba.ac.jp/okajimalab/>
(文責：岡島 敬一)
