

S-3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト

3. 都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

(6) 都市系バイオマスと未利用エネルギーの活用によるエネルギー削減効果（第Ⅱ期平成19～20年度）

東洋大学

国際地域学部国際地域学科 荒巻 俊也

〈研究協力者〉 東京大学 大学院工学系研究科都市工学専攻 石井 暁
先端科学技術研究センター 栗栖（長谷川） 聖

平成16～20年度合計予算額 11,075千円

（うち、平成20年度予算額 1,642千円）

※上記の合計予算額には、間接経費 2,557千円を含む

[要旨] バイオマス資源として厨芥や下水汚泥などの都市湿系バイオマスや木質バイオマスを対象として、2050年にかけての社会経済変化を考慮した利用ポテンシャルの評価を行った。都市湿系バイオマスについてはバイオガス製造ポテンシャルを、木質バイオマスについては住宅や製紙への利用も考慮したうえでバイオエタノールの製造ポテンシャルを評価し、さらに早生樹の積極的な栽培によるポテンシャルの評価も行った。また、都市の未利用エネルギーについては、清掃工場の廃熱および下水熱を地域冷暖房として利用するケースについて、前者は横浜市と全国を対象に、後者は東京都を対象にそのポテンシャルを推定した。横浜や東京都といった都市レベルでの解析では詳細な建物情報を元にし、全国レベルでは1kmメッシュのスケールでそれぞれ熱需要を推定し、利用ポテンシャルを解析した。

このような一連の解析の結果、バイオマス利用については、2050年において都市湿系バイオマス利用は年間約180万t、早生樹の積極的な利用とバイオエタノール製造のポテンシャルは約2600万t、これに住宅の長寿命化をはかることによりさらに+1700万tくらいのCO₂排出削減ポテンシャルが推定された。一方、未利用熱によるCO₂排出削減ポテンシャルについては清掃工場廃熱の利用が全国で約50～280万t、東京都における下水熱利用が約13万tと推計された。

[キーワード] バイオマス、未利用熱、エネルギー利用、CO₂排出削減、将来予測

1. はじめに

将来の脱温暖化社会におけるエネルギー源として、バイオマス資源の利用が期待されている。バイオマス資源には、厨芥や下水汚泥などの都市廃棄物系バイオマス、建設廃棄物や製材所廃棄物に含まれる木質バイオマス、エネルギー作物や早生樹などの栽培系バイオマスなどがあるが、それぞれに嫌気性発酵によるバイオガス生産、発酵などによる液体燃料化、焼却などによる発電・熱回収などの技術オプションが考えられる。さまざまな技術オプションの導入によりどの程度温

室効果ガスの削減に貢献できるのか、それが将来の社会経済状態の変化に伴いどのように変わっていくのかについて統合的な解析が必要となっている。

また、都市の未利用熱の有効利用も温室効果ガス削減にむけた有効な対策と考えられている。清掃工場や変電所、地下鉄などの排熱、下水や河川水の熱エネルギーの利用などが未利用熱として考えられているが、どの程度の利用可能性があるかを正確に検討するためには、発地点（供給）と需要の空間的な関係が特に熱利用を行う際には重要である。

2. 研究目的

本研究グループではバイオマス資源や都市の未利用熱の有効利用により具体的にどれくらいのCO₂削減効果が見込めるかについてより詳細な評価を実施するために、以下の項目についての研究を実施した。

まず、バイオマス資源についての解析では、厨芥や下水汚泥などの都市における湿系バイオマスおよび木質資源のエネルギー利用ポテンシャルの解析を実施した。これらの解析では、将来の社会経済状態の変化を考慮し、現在から2050年までの推定を日本全体を対象として行った。都市湿系バイオマスについてはバイオガスの製造、木質資源のエネルギー利用についてはバイオエタノール製造をエネルギー利用のシナリオとし、木質資源については競合する住宅や製紙部門での政策シナリオも取り入れた解析を実施した。さらに早生樹を用いたより積極的なエネルギー利用を想定して解析を実施した。

都市の未利用熱の利用については、都市内に広く存在している下水熱を用いた地域冷暖房システムの導入効果の解析を東京都区部を対象として実施するとともに、清掃工場排熱を対象として、横浜市および全国の清掃工場において地域冷暖房システムにより利用した場合のCO₂排出削減ポテンシャルを推定した。いずれも未利用熱の供給可能量と需要の空間的な整合性が重要な視点となるが、地理情報を利用した需給バランスの解析のもと、これらのポテンシャルの推定を行った。

3. 研究方法

(1) 都市湿系バイオマスによるバイオガス製造ポテンシャルの解析

2050年までのポテンシャルを推定するうえでの人口や世帯数のデータとして、本プロジェクトにより作成された2050年にかけての人口・社会・経済に関する超長期シナリオを用いる。ここでは、2つの将来の社会像を表すシナリオ（以下、AシナリオとBシナリオ）を構築しており、Aシナリオでは経済発展・技術志向型の社会を、Bシナリオでは地域重視・自然志向型の社会と幅を持った将来像を想定している。これらのシナリオによる2050年における全国人口は、シナリオAで約9.5千万人、シナリオBは出生率が高くなると仮定されているため約1億人となり、シナリオAでは都市への人口集中と地方の過疎化がさらに進むという設定になっている。

湿系バイオマスのうち、家庭系の厨芥、事業系の厨芥、汚水処理からの汚泥量をそれぞれ将来の人口変化を考慮して求める。技術志向型のAシナリオでは、湿系バイオマスはエネルギー資源と見なされ、集中的な収集・処理のもとにバイオガス生産が行われる一方で、地域重視・自然志向型のBシナリオでは家庭菜園など堆肥や有機飼料の需要が増え、バイオガス生産はコンポスト化と競合する。このようなことから、バイオガス製造に用いられるバイオマス量については、厨芥の分別回収率とバイオガス生産への利用状況について仮定をおいて利用可能量を算出した。さらに、

メタン発生量を予測し、発電効率についても将来の効率向上をふまえたうえで、発電可能量を算出した。詳細は荒巻ら¹⁾に詳しい。

(2) 木質資源のエネルギー利用ポテンシャルの解析

まず、日本全体での政策シナリオを評価するフレームを構築した。その概要を図-1に示す。この評価フレームは、木質資源の主な利用先である住宅部門、製紙部門および木質エネルギー部門の3部門で構成されている。将来の日本社会の変化と複数の政策シナリオに基づいて、住宅部門では、世帯数、住宅ストック戸数、新築住宅戸数、解体住宅戸数の推計から住宅用（製材用・合板用）木材需要量および住宅廃木材発生量を予測する。また、製紙部門では、人口推計、古紙利用率等から製紙用（パルプ用・チップ用）木材需要量を予測する。一方、木質エネルギー部門では、上記の住宅用・製紙用木材需要量予測から、国内の森林における住宅用・製紙用国産木材の生産面積を推定した上で、利用可能となる森林におけるエネルギー用木材生産量を推計する。このエネルギー用木材生産量および住宅廃木材発生量からエネルギー利用量を予測する。さらに、各部門に関わるライフサイクル的なCO₂排出量を算定し、各種政策シナリオによる木質資源フロー全体でのCO₂排出削減効果を評価する。

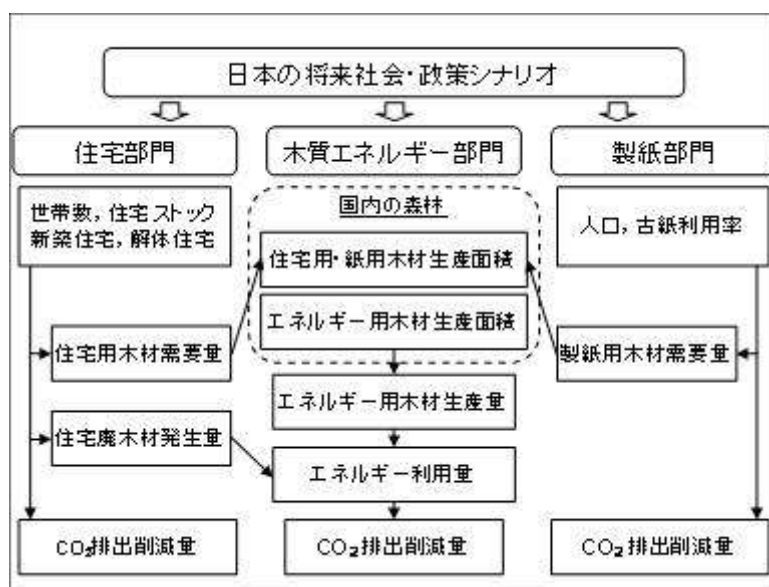


図-1 木質資源フローに関わる政策シナリオ評価フレームの概要

評価対象とした政策シナリオは、住宅部門では集合住宅の増加（木造住宅の減少）、戸建住宅の増加（木造住宅の増加）および住宅耐用年数の延長を推進するという3つの政策シナリオ、製紙部門では古紙の利用を促進する政策シナリオ、木質エネルギー部門ではガソリンの代替燃料として注目されている液体燃料バイオエタノールに着目し、木質資源からバイオエタノールを製造し、ガソリン燃料と代替利用する政策シナリオを想定した。バイオエタノールの原料は、住宅の新築時や解体時に発生する住宅廃木材および国内の森林から生産されるエネルギー用木材（早生樹木）を対象とした。ここで、エネルギー用木材については「森林・林業基本計画」²⁾で規定される木質資源として利用するための目標森林面積において、住宅用および製紙用といったマテリア

ル用木材の生産面積を確保した上で、利用可能となる森林でのエネルギー用木材の生産を想定する政策シナリオとした。

各政策シナリオについてCO₂排出量を推定した。住宅部門では住宅の建設および運用段階でのCO₂排出量を、製紙部門では原料の調達段階、製紙パルプの製造段階、古紙の回収輸送段階を対象として、木質エネルギー部門では、バイオエタノールおよび代替対象となるガソリンについてそれぞれライフサイクルでのCO₂排出量を考慮した。

政策シナリオおよびCO₂排出量の評価方法については、加用ら³⁾に詳しい。

(3) 清掃工場廃熱の地域冷暖房システムへの利用ポテンシャルの解析

清掃工場排熱利用にあたっては地域冷暖房による利用を想定した。その導入効果の解析にあたっては、まず焼却排熱の賦存量と、清掃工場周辺の焼却熱供給先として利用可能量の大きい業務および家庭部門の建物熱需要を推定した。また、熱供給に必要な配管の敷設によるCO₂排出量(LCCO₂)を考慮し、利用可能排熱量と周辺建物熱需要のバランスから地域冷暖房導入により削減されるCO₂排出量を推定した。

具体的な解析は以下の二段階で行った。まず詳細な解析として大規模な清掃工場が集まる横浜市をケーススタディ都市として選定し、個々の建物情報を利用した解析を行った。現在稼動している5ヶ所の清掃工場を対象とし、周辺の建物用途を考慮して地域冷暖房導入にともなうCO₂排出削減量を推定した。その後、得られた結果をもとに対象を全国の清掃工場に拡張し、日本全国におけるポテンシャルを推定した。横浜市における解析では、周辺熱需要の推定にあたっては個々の建物の情報を用いた。一方、全国における推定では、国勢調査や事業所統計などのメッシュ統計データから1kmメッシュごとに熱需要を推定した。一方、清掃工場からの廃熱供給量は実績値を基に算出し、清掃工場からの距離ごとに熱供給のバランスを解析した。さらに、個別の熱供給システムを比較対象として、地域冷暖房システム導入によるCO₂排出量削減効果を評価した。これらの推定手法の詳細は、河上ら^{4),5)}に詳しい。

(4) 下水熱を用いた地域冷暖房システムの導入効果の解析

下水熱は地域冷暖房(DHC)の熱源として活用することで利用可能になるが、質の低い熱である反面、都心部に張り巡らされている下水のネットワークから熱を取り出せるという優位性を有している。しかしながら、現実の都市における下水熱の利用による温室効果削減可能量については、定量的な評価がなされておらず、そのポテンシャルすら明らかになっていない。そこで、DHCプラントシミュレーションモデルと、下水流量と温度を計算する下水幹線シミュレーションモデルの2つのモデルを開発し、東京都区部の建物情報を利用して同地域に適用し、東京都区部において下水熱を最も効率よく利用した場合にどの程度CO₂が削減されるかについて推定した。

図-2は下水幹線シミュレーションモデルの概要を示している。東京都の建物利用の地理情報システムと下水温度の実測値を元に任意の地点の下水流量と水温を推定する手法を新たに開発した。この方法では、建物の用途別の床面積あたり下水排出原単位に、各建物用途ごとの床面積を乗じ、また下水の流下時間をも考慮した。下水の集水域を各幹線の流域図を基に独自に決定した点や、下水の流下に伴うタイムラグを考慮した点、上流側のDHCで下水熱を利用した場合に下流側の下水温度を変化させた点にオリジナリティがある。

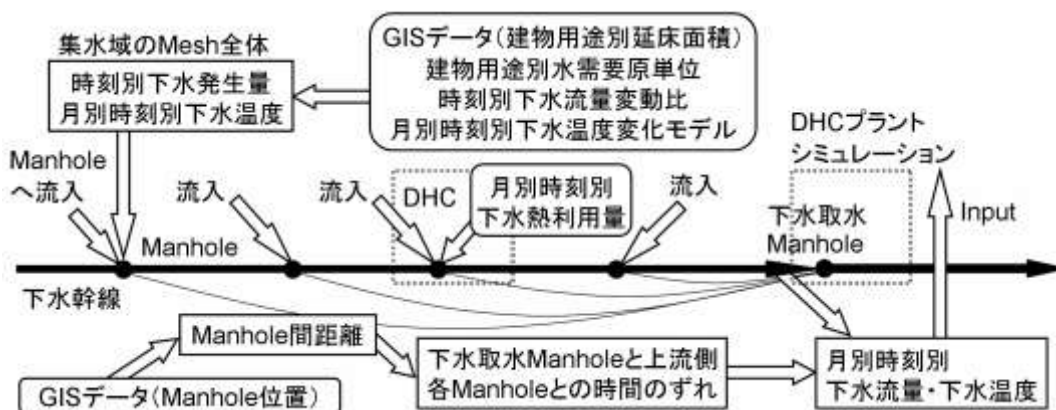


図-2 下水幹線シミュレーションモデルの概要

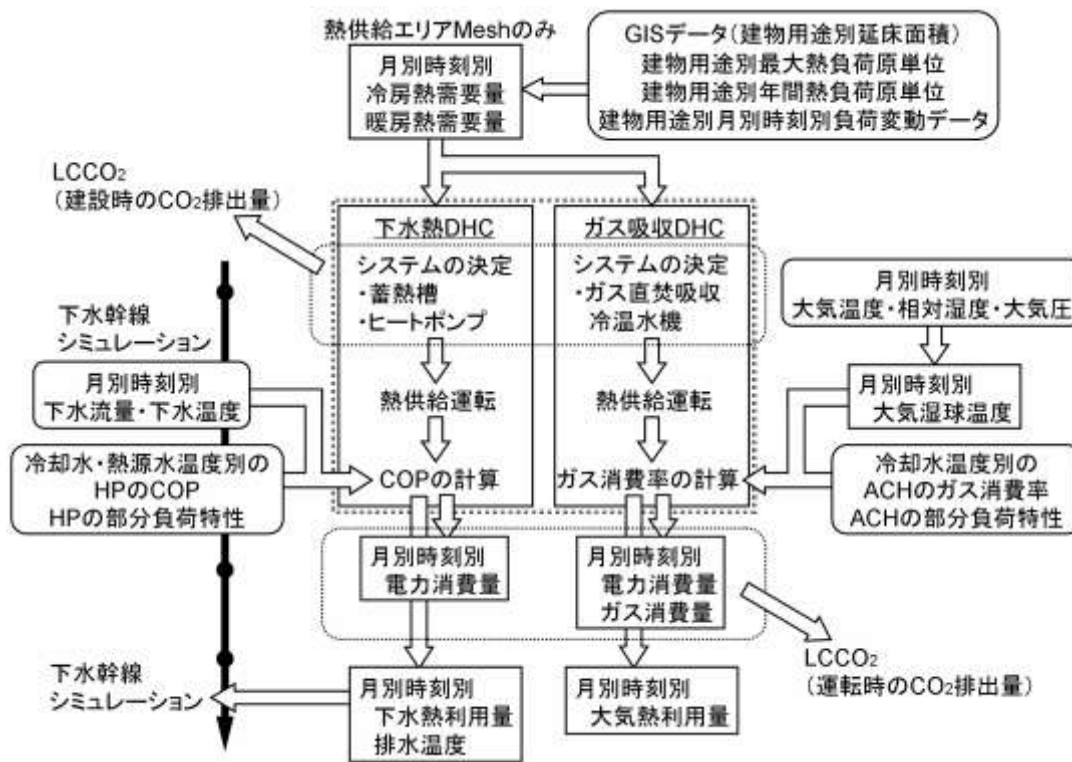


図-3 DHCプラントシミュレーションモデルの概要

図-3はDHCプラントのシミュレーションモデルの概要を示している。このモデルでは、1年間を通じて、1ヶ月ごとおよび1時間ごとのシミュレーションが可能になっており、また現実の状態に合わせて蓄熱槽の設置も考慮している。二酸化炭素排出量を計算する場合には時刻によって電力の炭素原単位が異なるため、このような詳細な検討が必要になり、その意味でこのような緻密なモデル設定は重要である。

これら2つのモデルを用いて、対象メッシュにDHCを導入した場合の確保できる熱量、LCCO₂や経済性を推定した。2つのモデルや評価方法の詳細は池上⁶⁾を参照されたい。

4. 結果・考察

(1) 都市湿系バイオマスによるバイオガス製造ポテンシャルの解析

図-4 は全国におけるシナリオ別の年間発電量である。

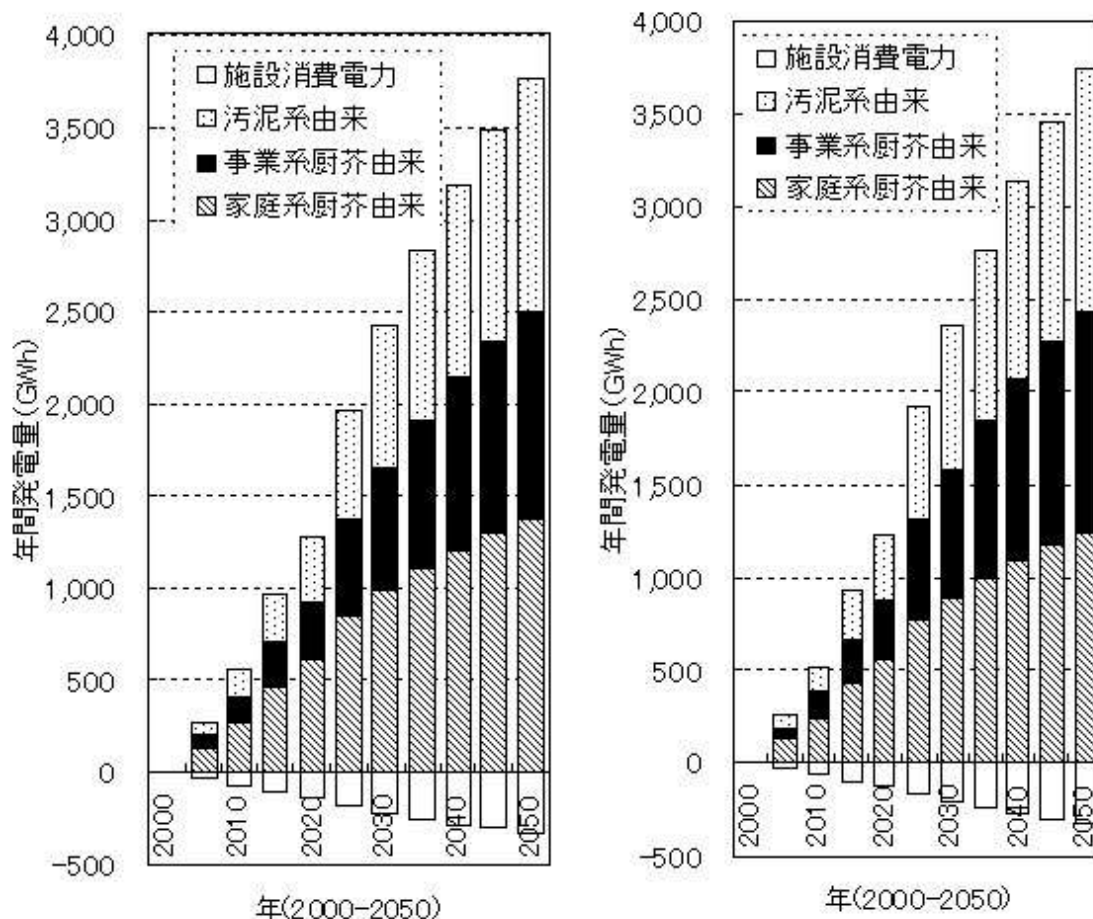


図-4 全国におけるバイオガス生産による年間発電ポテンシャルの予測
(左：Aシナリオ、右：Bシナリオ)

2050年において、シナリオA、Bともに約3,700GWh程度であった。厨芥系に着目すると、2005年から2050年における、厨芥系バイオマス由来のエネルギー投入比(例：インプット(メタン生成時)/アウトプット(メタン由来エネルギー)の比率)は両シナリオにおいて13-16%であった。ただし、この値はバイオガス生成システムのみに着目しており、輸送等や消化液処理に係るエネルギーを考慮していない。スウェーデンにおけるバイオマス由来のメタン発酵ポテンシャルの研究では、都市有機系廃棄物由来のエネルギー投入比は、前処理、厨芥輸送、消化残渣輸送などを考慮し、約20%-60%と見積もっている⁷⁾。この研究では、乾重量あたりのメタン発生量が本研究の2.5倍-3.5倍となっていること、エネルギー投入比約60%の条件において、前処理工程のエネルギー消費量が総インプットの約50%程度を見積もっていることから、木くずや紙類も含まれているものと考えられる。また、近距離輸送にかかるエネルギーインプットはエネルギー回収量と比較して数%と留まっており、本研究で用いた石井ら⁸⁾の検討と同様である。日本とスウェーデ

ンとの単純比較には注意が必要であるが、その大きな違いはバイオマスの地域分布およびその特性にあると考えられ、バイオガス生成プロセスは同様であると仮定すると、木屑及び紙類も含む前処理工程部分を除いたエネルギー投入比は18-30%程度、厨芥系の場合、混合系の前処理工程よりもエネルギー需要が低減されるため、メタン発生量の違いを考慮すると、本研究における厨芥類系エネルギー投入比は妥当な範囲であると考えられる。但し、本研究においても施設消費電力等の計算精度を上げる必要がある。

本研究においてエネルギー回収量は各シナリオにおいて地域差が存在するものの、2005年時点における電力およびガス供給を代替すると仮定した場合、二酸化炭素換算で年間約184万tを削減できることがわかった。ただし、将来的には系統電力およびガスの単位あたりの二酸化炭素排出原単位が低下する事が考えられるため、二酸化炭素換算の議論は注意が必要である。シナリオ間の比較では、シナリオBにおいて堆肥化との競合により、家庭系および事業系厨芥回収量は少ないが、人口が多い分だけ汚泥系の発生および回収が進む結果、同様の発電ポテンシャルが期待できることを示している。また2010年、2015年におけるマイクロガスタービンにおける効率の向上がエネルギー回収に大きく影響している。逆に、バイオガスからの発電技術の将来的な効率向上をどのように仮定するかが将来の供給ポテンシャルの推定に影響を与えているとも言える。

(2) 木質資源のエネルギー利用ポテンシャルの解析

1) バイオエタノールの生産ポテンシャル

住宅、製紙部門において必要となる木材量の推計結果から、木質エネルギー部門のバイオエタノール活用政策シナリオにおいて、住宅部門および製紙部門の政策シナリオごとに2050年のバイオエタノール生産量を図-5に示した。生産量の内訳では、エネルギー用木材由来が約9割であり大きい割合を占める結果となった。また、住宅廃木材やエネルギー用木材とともにバイオエタノールの原料として注目されている木質資源として林地残材（森林内に放置される未利用間伐材、末木、枝条、根元部）が挙げられる。既往研究^{9),10)}による林地残材の年間発生量推定結果335~370万t-wood/yearを用いてバイオエタノール生産量を試算すると21~23PJ-ethanol/yearとなり、これはエネルギー用木材由来バイオエタノール生産量の約5%に相当する。このことからエネルギー用木材は大きい生産ポテンシャルを有していることが分かる。図-5において、バイオエタノール活用政策のみのシナリオ（住宅部門・製紙部門政策なし）と比較して、集合住宅増加、耐用年数延長あるいは古紙利用増加の各政策を同時に実施することによってバイオエタノール生産量は約1.1倍に増加する結果となった。これらの政策シナリオでは、森林において住宅用木材および製紙用木材生産量が減少し、代わりにエネルギー用木材の生産量が増加することが影響している。特に、集合住宅増加シナリオの生産量が最も大きく2050年に約493PJ（熱量換算）と推計され、現状の日本全国ガソリン消費量2,185PJ（熱量換算）¹¹⁾の約23%に相当する。一方、戸建住宅増加の政策シナリオでは、森林において住宅用木材生産量が増加することにより、エネルギー用木材生産量が減少し、バイオエタノール生産量はバイオエタノール活用政策のみの場合の約9割に減少する結果となった。

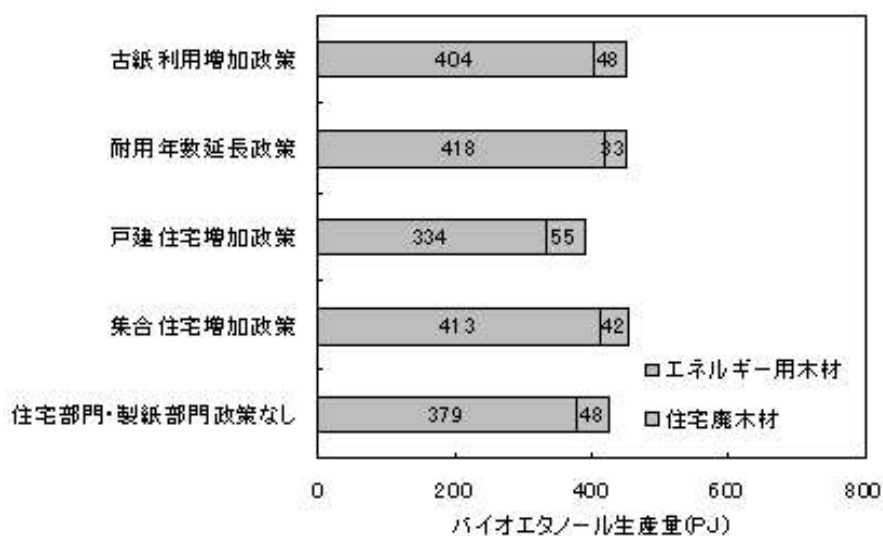


図-5 2050年における木質資源からのバイオエタノール生産ポテンシャル

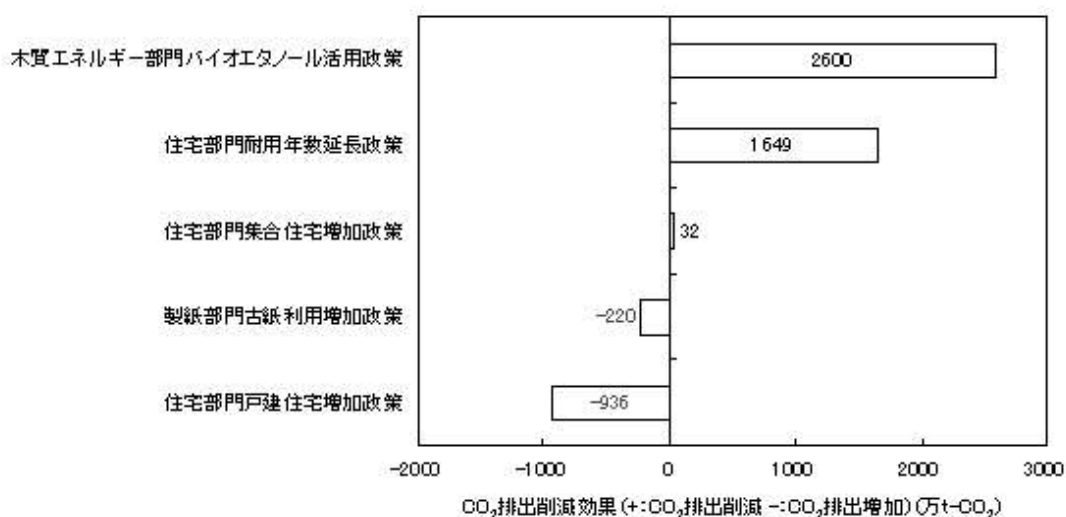


図-6 個別の政策実施による2050年のCO₂排出削減効果

2) 各シナリオにおける木質資源フロー全体におけるCO₂排出削減効果

各部門の政策シナリオごとに政策なしシナリオと比較した場合の2050年におけるCO₂排出削減効果（+：CO₂排出削減，-：CO₂排出増加）を図-6に示した。各政策の中で最もCO₂排出削減効果大きいシナリオは、木質エネルギー部門におけるバイオエタノール活用政策であり、次いで、住宅部門における耐用年数延長の政策シナリオ、集合住宅増加の政策シナリオであった。一方、製紙部門における古紙利用増加の政策シナリオおよび住宅部門における戸建住宅増加の政策シナリオは、各部門においてCO₂排出量の増加となった。

また、各部門における個別の政策実施ではなく複数の政策を同時に実施することによって、木質資源フロー全体におけるCO₂排出削減効果は上記と異なる結果となる。複数の政策シナリオによる政策なしシナリオと比較した場合の2050年におけるCO₂排出削減効果（+：CO₂排出削減，-：CO₂排出増加）を図-7に示した。

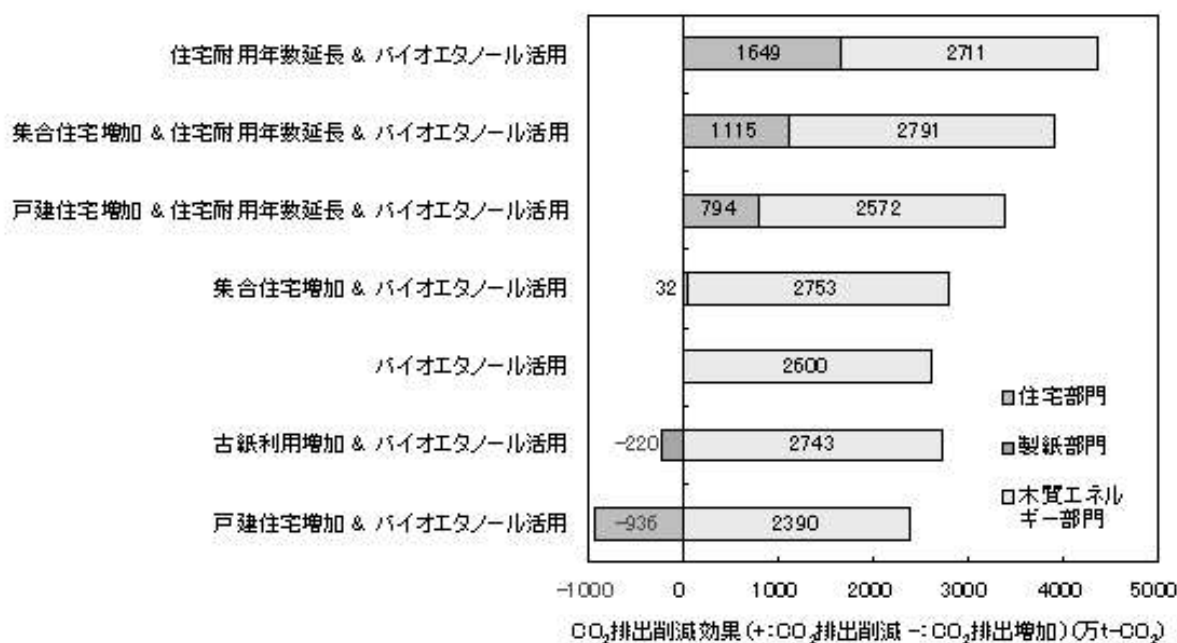


図-7 複数の政策実施による2050年のCO₂排出削減効果

住宅耐用年数延長の政策シナリオは住宅部門においてCO₂排出削減効果（約16.5百万t）があるが、同時にバイオエタノール活用政策を実施することによって、木質エネルギー部門におけるCO₂排出削減効果がバイオエタノール活用政策のみの約26.9百万tと比較して約27.5百万tへ大きくなることが分かった。また、集合住宅増加の政策シナリオにおいても、木質エネルギー部門におけるCO₂排出削減効果が約26.9百万tから約28.0百万tへ大きくなる結果となった。これらの政策シナリオでは、森林において住宅用木材生産量およびその生産面積が減少し、エネルギー用木材生産量が増加することが影響している。

一方、古紙利用増加の政策シナリオでは、製紙部門におけるCO₂排出量が増加（約2.2百万t）するが、木質エネルギー部門においてCO₂排出削減効果が約26.9百万tから約27.8百万tへ大きくなると予想される。森林における製紙用木材生産量および生産面積の減少に伴うエネルギー用木材生産量の増加によるものである。また、住宅用木材需要量が増加する戸建住宅増加の政策シナリオの場合は、住宅部門においてCO₂排出量増加（約9.4百万t）となり、さらに、木質エネルギー部門においてもCO₂排出削減効果が小さくなり、約26.9百万tから約25.4百万tへ約9割になる結果となった。

最もCO₂排出削減効果が大きい政策シナリオは、住宅耐用年数延長およびバイオエタノール活用の政策であり、2050年のCO₂排出削減量は約44.0百万tと推計され、1990年の日本全国CO₂排出量¹²⁾の約4%に相当する。

（3）清掃工場廃熱の地域冷暖房システムへの利用ポテンシャルの解析

1) 横浜市を対象とした解析

個別の熱供給によるCO₂排出量に対する、排熱利用地域冷暖房のCO₂削減量を算出した。結果を表-1に示す。2km圏内への熱供給でCO₂削減量が最大化するという結果が、ほぼすべてのケース

で得られた。異なる結果となったのは、保土ヶ谷の配管長原単位が高密のケース（1km 圏内で最大化）と、金沢の配管長原単位が低密および全国平均のケース（3km 圏内で最大化）であった。2km 圏内から 3km 圏内へと熱供給範囲を拡大すると、金沢での低密と全国平均を除くすべてのケースで CO₂ 削減量が減少に転ずる結果となった。供給エリアが広くなるにつれ、配管原単位の影響が大きくなるため、原単位の扱いには注意を要する。横浜市全体では、保土ヶ谷は半径 2km まで、その他の焼却場は 3km まで排熱利用地域冷暖房を導入したケースの CO₂ 削減量が最大となる。配管原単位ごとの結果を表-2、図-8 に示す。

表-1 個別熱供給に対するCO₂削減量 [千t-CO₂/yr]

保土ヶ谷				金沢			
	1km	2km	3km		1km	2km	3km
低密	13	23	1	低密	11	33	44
全国平均	12	20	-6	全国平均	10	29	37
高密	9	9	-31	高密	7	18	12
都筑				旭			
	1km	2km	3km		1km	2km	3km
低密	14	39	30	低密	9	26	21
全国平均	13	35	23	全国平均	8	23	13
高密	10	24	-3	高密	5	11	-12
鶴見							
	1km	2km	3km		1km	2km	3km
低密	-0	15	6				
全国平均	-1	12	-1				
高密	-4	1	-26				

表-2 横浜市全体の最大CO₂削減量 [万t-CO₂/yr]

配管原長単位	CO ₂ 削減量 [万t-CO ₂ /yr]
低密	15
全国平均	13
高密	6.4

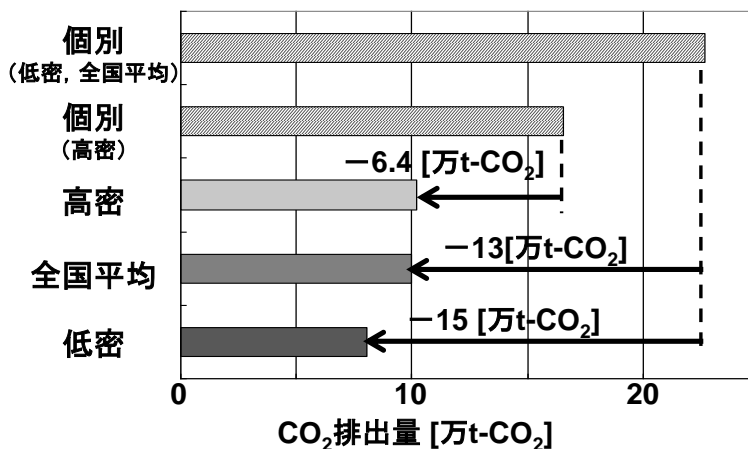


図-8 横浜市全体の最大CO₂削減量 [t-CO₂/yr]

2005 年度における横浜市全体の CO₂ 排出量は 1,937 万 t-CO₂ である。ここで得られた解析結果は 6.4~15 万 t-CO₂ であったので、全 CO₂ 排出量の 0.33~0.76% を占めるということがわかる。

2) 全国の清掃工場を対象とした解析

隣接する清掃工場との距離が短く、熱供給範囲の競合が起こるプラントと、周囲に他のプラントがなく競合が起こらないプラントに分けて解析を行った。競合が起こっている清掃工場については、1つの熱供給範囲内に複数の清掃工場を含むと考え、3km メッシュおよび 5km メッシュが重なる場合はそのメッシュも同じ熱供給範囲内とみなしていく。1つの熱供給範囲が拡大していき、隣接する清掃工場と 5km メッシュが重ならなかったところまでとする。競合が起こらなかった清掃工場 401ヶ所分の CO₂ 削減量と熱供給エリアが競合する清掃工場 135ヶ所分の CO₂ 排出削減量をそれぞれ表-3 と図-9 に示す。配管長原単位が最も小さい低密を想定した場合の CO₂ 排出削減量が最大となり、その削減量は 280 万 t-CO₂/yr であった。

全国を対象とした CO₂ 削減量推定結果を、現実に日本全体から排出される CO₂ と比較し、日本全体からみた削減効果を考察した。2005 年度の日本における CO₂ 排出量は 12 億 9300 万 t-CO₂ である。ここで得られた日本全体の CO₂ 削減量は最大で 280 万 t-CO₂/yr であったので、日本全体の CO₂ 排出量の 0.22% を占める。また、本研究において削減の対象として考える民生部門に対する CO₂ 削減量の比率については、家庭部門と業務その他部門を合わせた民生部門の 2005 年度における CO₂ 排出量は 4 億 1200 万 t-CO₂ であるので、ここで得られた解析結果は民生部門からの CO₂ 排出量の 0.68% を占めるという結果を得た。

表-3 日本全体の最大 CO₂ 排出削減量 [t-CO₂/yr]

配管原長単位	最大CO ₂ 削減量 [万t-CO ₂ /yr]		
	競合しない	競合する	全国合計
低密	155	125	280
全国平均	75	80	155
高密	21	28	49

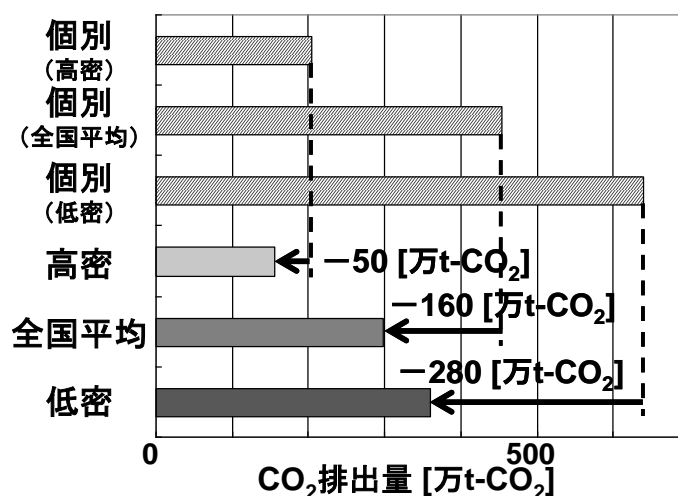


図-9 日本全体の最大 CO₂ 削減量 [t-CO₂/yr]

(4) 下水熱を用いた地域冷暖房システムの導入効果の解析

表-4は各処理区において下水熱を最も有効に利用した場合のCO₂排出削減量と削減率を示している。もっとも熱需要が大きい芝浦処理区では59の地区に下水熱DHCを導入することによりこれらの地区に通常のDHCを導入した場合より年間50千tのCO₂排出を削減できる。これは当該地区の民生部門CO₂排出量推定値の約0.70%に相当し、この時のCO₂排出削減コストは平均すると約9.5千円/t-CO₂であると試算された。都区部全体では320の地区に下水熱DHCを導入することにより約137千t-CO₂/yrのCO₂を削減できるポテンシャルがあることが分かった。これは、東京都区部の民生部門のCO₂排出量の推定値の0.54%であった。

表-4 各処理区のCO₂排出削減量・削減率

処理区	導入DHC数	LCCO ₂ 排出削減量 (千t-CO ₂ /yr)	民生部門のCO ₂ 排出量に対する削減率	
			処理区全体	熱供給エリア比
芝浦	59	50	0.70%	10.8%
三河島	46	20	0.69%	10.4%
砂町	37	9.8	0.49%	8.9%
小台	10	3.1	0.42%	9.9%
落合	24	11	0.56%	11.7%
森ヶ崎	79	28	0.58%	10.3%
小菅	2	0.31	0.06%	8.8%
葛西	27	7.5	0.53%	9.9%
新河岸	31	7.3	0.24%	9.6%
中川	5	1.1	0.12%	11.6%
合計	320	137	0.54%	10.4%

また、熱需要の多い芝浦処理区を対象として、気候条件を変化させて導入効果がどのように変化するかを検討した。具体的には、気温や下水温度について札幌の情報を用いてシミュレーションを行った。その結果、下水熱DHCの導入は寒冷地の方がCO₂削減コストやCO₂削減率といった面で効果が大きくなるが、熱利用による冬季の下水温度の低下が問題となり多数のDHCの導入には困難があることが示された。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

個々の研究項目について見ていくと、都市湿系バイオマス利用のポテンシャルについては、これまでこのように全国レベルで長期にわたって厨芥や汚泥の発生量を予測している例はなく、貴重な結果が得られた。また、木質バイオマスに関する政策によりCO₂削減効果の評価についてはこれまでもいろいろな側面から研究が行われてきたが、住宅、紙、エネルギーといったさまざまな木質の利用シナリオを一元的に解析し、かつライフサイクルにおけるCO₂排出削減量を評価したという点で新しいものと言える。清掃工場の廃熱利用ポテンシャルについても、個々の清掃工場については詳細に解析した事例はあったが、全国の工場を対象として周辺熱需要を考慮してそのポテンシャルを解析した事例は本研究が初めてである。既存の地理情報を効率よく利用しながら

ら全国を対象とした推計を行っており、同様のアプローチは他の未利用エネルギーに拡張しうるものと考えられる。下水熱のポテンシャルについては、これまで利用可能温度を一律に仮定した形での評価しか行われていなかったが、本研究で開発したモデルでは下水温度による機器の効率の変化などまで考慮に入れており、初めて現実的な利用可能ポテンシャルの評価に成功したものと言える。

(2) 地球環境政策への貢献

本研究で得られた結果だけでなく、CO₂削減効果のさまざまな解析手法は国のみならず各自治体のレベルにおいても具体的な政策を検討・実施していくうえで有効なものと考えられるため、学術誌や学会などでの研究発表、さまざまな委員会や審議会における検討の場、などを通じ、成果の広報・普及に努める。

6. 引用文献

- 1) 荒巻俊也，石井暁，園田隼也，加用千裕，花木啓祐：「廃棄物バイオマスの利用ポテンシャルの将来予測と温室効果ガス排出削減効果の解析～都市湿系バイオマスと建設発生木材を対象として」，地球環境，12(2)，pp.201-207，2007
- 2) 林野庁：森林・林業基本計画，2006
<http://www.rinya.maff.go.jp/seisaku/kihonkeikaku/keikakukanren.html>
- 3) 加用千裕，荒巻俊也，花木啓祐：「木質資源フローに着目した温室効果ガス排出削減政策シナリオ評価フレームの構築」，土木学会論文集G，64(3)，pp.207-220，2008
- 4) 河上裕美，花木啓祐，荒巻俊也：「地理情報を利用した清掃工場排熱 利用の地域冷暖房導入による CO₂削減ポテンシャルの推定」，第24回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，2008
- 5) 河上裕美，荒巻俊也，花木啓祐：「日本全国の清掃工場を対象とした排熱利用地域冷暖房システムによるCO₂排出削減ポテンシャルの推計」，環境システム研究論文集，36，pp.87-95，2008
- 6) 池上貴志，荒巻俊也，花木啓祐：「ライフサイクルインベントリ分析による下水熱利用地域冷暖房システム導入効果の解析」，土木学会論文集G，64(2)，pp.96-106，2008
- 7) M. Berglund & P. Börjesson： “Assessment of Energy Performance in the Life-cycle of Biogas Production”，Biomass and Bioenergy，30，pp.254-266，2006
- 8) 石井暁，花木啓祐：「川崎市下水処理場における有機性食品廃棄物を利用したエネルギー回収および二酸化炭素削減ポテンシャルの推定」，土木学会環境システム論文集，34，pp.443-453，2006
- 9) 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)：「バイオマス賦存量・利用可能量の推計/GISデータベース」，<http://appl.infoc.nedo.go.jp/>
- 10) 農林水産省：「バイオマス・ニッポン/バイオマスの利用状況(2005年現在)」，
http://www.maff.go.jp/j/biomass/pdf/riyou_jyokyou.pdf
- 11) 石油連盟：2005年度都道府県別販売実績。
- 12) 環境省：「国内各温室効果ガスの排出量の推移」，環境統計集，
<http://www.env.go.jp/doc/toukei/contents/index.html>

7. 国際共同研究等の状況

該当なし

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文(査読あり)>

- 1) 池上貴志, 荒巻俊也, 花木啓祐:「下水熱利用地域冷暖房システムの戦略的導入による環境負荷低減効果の解析」, 環境システム研究論文集, 33, pp. 121-127, 2005
- 2) 石井暁, 花木啓祐:「川崎市下水処理場における有機性食品廃棄物を利用したエネルギー回収および二酸化炭素削減ポテンシャルの推定」, 環境システム研究論文集, 34, pp. 443-453, 2006
- 3) 荒巻俊也, 石井暁, 園田隼也, 加用千裕, 花木啓祐:「廃棄物バイオマスの利用ポテンシャルの将来予測と温室効果ガス排出削減効果の解析～都市湿系バイオマスと建設発生木材を対象として」, 地球環境, 12(2), pp. 201-207, 2007
- 4) 池上貴志, 荒巻俊也, 花木啓祐:「ライフサイクルインベントリ分析による下水熱利用地域冷暖房システム導入効果の解析」, 土木学会論文集 G, 64(2), pp. 96-106, 2008
- 5) 加用千裕, 荒巻俊也, 花木啓祐:「木質資源フローに着目した温室効果ガス排出削減政策シナリオ評価フレームの構築」, 土木学会論文集 G, 64(3), pp. 207-220, 2008
- 6) 河上裕美, 荒巻俊也, 花木啓祐:「日本全国の清掃工場を対象とした排熱利用地域冷暖房システムによる CO₂ 排出削減ポテンシャルの推計」, 環境システム研究論文集, 36, pp. 87-95, 2008
- 7) 加用千裕, 荒巻俊也, 花木啓祐:「炭素ストック変化を考慮した森林資源のエネルギー活用による実質 CO₂ 削減効果の長期予測」, 土木学会論文集 G, 64(4), pp. 336-346, 2008
- 8) 池上貴志, 荒巻俊也, 花木啓祐:「東京都区部への下水熱利用地域冷暖房システム導入による二酸化炭素排出削減可能量の評価」, 土木学会論文集 G, 印刷中

<その他誌上発表(査読なし)>

なし

(2) 口頭発表(学会)

- 1) T. Aramaki, T. Sonoda, S. Ishii, K. Hasegawa-Kurisu and K. Hanaki: “Long-term estimation of utilization potential for unused biomass in a regional scale”, Annual Meeting 2007 of the Alliance for Global Sustainability, P.170, Barcelona, 2007.
- 2) S. Ishii, and K. Hanaki: “Potential Energy Recovery and CO₂ Reduction from Organic Food Waste in Yokohama: Centralised and De-Centralized Biogas System Options”, The 4th International Conference of the International Society of Industrial Ecology, 2007
- 3) 加用千裕, 園田隼也, 荒巻俊也, 石井暁, 花木啓祐:「住宅由来の建設発生木材によるバイオエタノール製造ポテンシャルの将来推定」, 土木学会第 62 回年次学術講演会, 2007
- 4) 加用千裕, 園田隼也, 荒巻俊也, 石井暁, 花木啓祐:「栽培系バイオマス由来のバイオエタノール活用による二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計」, 第 35 回環境システム研究論文登

表会，2007

- 5) 池上貴志，荒巻俊也，花木啓祐：「下水熱利用地域冷暖房システムの二酸化炭素排出削減ポテンシャルの評価～東京都区部を対象として～」，電気学会メタボリズム社会・環境システム研究会，MES-07-5，2007
- 6) 河上裕美，花木啓祐，荒巻俊也：「地理情報を利用した清掃工場排熱 利用の地域冷暖房導入による CO₂ 削減ポテンシャルの推定」，第 24 回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，2008
- 7) 池上貴志，荒巻俊也，花木啓祐：「東京都区部における下水熱利用地域冷暖房システム導入による二酸化炭素排出削減ポテンシャルの推計」，土木学会第 63 回年次学術講演会，2008
- 8) 荒巻俊也，石井暁，花木啓祐：「都市静脈系施設における温室効果ガス削減」，環境科学会 2008 年会，2008
- 9) C. Kayo, T. Aramaki and K. Hanaki: “Long-term Projection of CO₂ Emission Reductions by Bioethanol from Fast-growing Trees Considering the Carbon Stock Change in Forests in Japan” , 8th International Conference on EcoBalance, 2008

(3) 出願特許

なし

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

なし

(5) マスコミ等への公表・報道等

なし

(6) その他

<受賞>石井暁（研究協力者）

土木学会環境システム論文奨励賞：2007年10月

受賞論文：「川崎市下水処理場における有機性食品廃棄物を利用したエネルギー回収および二酸化炭素削減ポテンシャルの推定」