工場排熱を利用したオフライン熱供給システムの導入によるCO₂排出削減効果の評価

片山 賢¹・山本 祐吾²・齊藤 修³・盛岡 通⁴

¹非会員 修(工) 豊田通商(株) (〒450-8575 愛知県名古屋市中村区名駅4-9-8)

E-mail: satoshi_katayama@toyota-tsusho.com

²正会員 博(工) 大阪大学大学院助教 工学研究科 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail: yugo@sec.eng.osaka-u.ac.jp

³正会員 博(農) 早稲田大学高等研究所助教 (〒169-8555 新宿区大久保3-4-1)

E-mail: o.saito@aoni.waseda.jp

⁴正会員 工博 大阪大学大学院教授 工学研究科 (〒565-0871 吹田市山田丘2-1)

E-mail: tmorioka@sec.eng.osaka-u.ac.jp

本研究では、工場から多量に発生する排熱を利用する手段としてオフライン熱供給システムに着目し、京浜臨海部周辺地域における熱供給事業の導入効果を明らかにするモデルを構築した。まず、GISを用いて工場排熱量、熱エネルギー需要量の分布を空間的に算出するプロセスを構築し、データベースを作成した。その上で、オフライン熱供給とオンライン熱供給の異なる特徴に着目し、導入効果の違いを明らかにした。京浜臨海部をケーススタディの対象として評価した結果、オフライン熱供給システムを導入することで、オンライン導入よりCO₂排出量が12%削減されることが分かった。

Key Words : off-line heat supply, on-line heat supply, geographical information system, exhaust heat

1. はじめに

国内のエネルギー消費原単位は、産業界のたゆまぬ努力によって他国を大きく引き離しているが、一次エネルギー効率は40%程度で、60%は排熱等の形で未利用のまま自然界に廃棄されている。一方、民生部門では、低温の熱需要に貴重な化石燃料が大量に使用されている。すなわち、現代のエネルギー需給構造には無駄が多く、資源枯渇と地球温暖化問題の両面からも従来のエネルギーシステムを変革しなければならない時期にきている。両問題を解決する糸口として、熱導管を介して工場排熱や河川水等の温度差エネルギーの地域熱供給を行う「未利用エネルギー活用型熱供給システム」(オンライン熱供給システム)が挙げられるが、このような地域熱供給も、他の分散型エネルギーに共通して見られる時間的・空間的なミスマッチ問題に直面している。

このような背景から、近年日本にもオフライン熱供給システムが技術導入されている。これは、従来工業用プロセスでは低温のため利用できなかった排熱を潜熱蓄熱材に蓄積し、トラック輸送によって冷暖房・給湯に利用するシステムである。これにより、一次エネ

ルギー効率を高めて、CO₂排出量を抑制する効果も期待できる。オフライン熱供給システムには、オンライン熱供給システムが有しなかった①遠距離輸送が可能、②供給先が固定されない等の利点があり、今まで余剰の低温排熱を利用できなかった地域でも熱を利用できる可能性がある。

そこで、本研究は、地域で発生する排熱を熱源として、地域に熱供給システムを導入したときの環境負荷削減効果を算定することを目的とする。具体的には、オフラインおよびオンライン熱供給システムの導入が実際に検討されている京浜臨海部とその周辺地域をケーススタディの対象地域として、地域エネルギーシステムの構築を検討する上で重要となる供給側での排熱発生量、需要側での熱エネルギー需要量の地域情報を地理情報システム(GIS)を用いて空間的に算出するプロセスを構築し、データベースを作成する。そのGISデータベースを用いて、対象地域にオフラインおよびオンライン熱供給システムを導入したときのエネルギー消費量とCO₂排出量の削減効果を定量的に評価する。

2. ケーススタディの対象地域の概要

ケーススタディの対象地域は、京浜臨海部とその周辺に位置する神奈川県横浜市鶴見区、港北区、神奈川区、神奈川県川崎市川崎区、幸区の5区とした（図-1）。当該地域は、東西に約22km、南北に13km広がっており、臨海部に工業団地が多く存在し、豊富な工場排熱が期待できる¹⁾。また、内陸部の新横浜駅や川崎駅周辺部等には様々な建物用途が混在した都市が存在するので、大きな熱需要が異なる負荷パターンで存在していると考えられる。なお、この京浜臨海部では、その豊富な排熱を利用したオンライン・オフライン熱供給の事業化が実際に検討されている²⁾。

図-1 対象地域の概要

3. GISデータベース構築

(1) 工場排熱の回収可能量の推計方法

工場の排熱回収可能量の推計方法を図-2に示す。排熱の性状、温度の違いを考慮して、個々の工場から回収可能な排熱量をオフライン熱供給用、オンライン熱供給用ごとに集計した。推計の対象は、紙パ・化学・窯業・鉄鋼・非鉄・清掃の7業種とした。具体的にはまず、参考文献³⁾、⁴⁾を参考に、従業員数⁵⁾とごみ処理量⁶⁾から一次エネルギー投入量を算出し、表-1に示す排熱推定式から総排熱発生量を算出した。これに総排熱発生量に対する排熱種別比率および温度別比率を乗じて、排ガス・温水・蒸気の排熱種別・温度別発生量を推計した。

図-2 排熱回収可能量の推計方法

表-1 排熱推定式³⁾ (Eはエネルギー)

業種	排熱量推定式
紙パ	一次E投入量[Tcal/y]=2.9[Tcal/y・人]×従業員数[人] 排熱量[Tcal/y]=0.071×一次E投入量[Tcal/y]+34[Tcal/y]
化学	一次E投入量[Tcal/y]=3.5[Tcal/y・人]×従業員数[人] 排熱量[Tcal/y]=0.082×一次E投入量[Tcal/y]+21[Tcal/y]
石油	排熱量[Tcal/y]=1.2[Tcal/y・人]×従業員数[人]-43[Tcal/y]
窯業	一次E投入量[Tcal/y]=0.69[Tcal/y・人]×従業員数[人] 排熱量[Tcal/y]=0.13×一次E投入量[Tcal/y]
鉄鋼	一次E投入量[Tcal/y]=2.4[Tcal/y・人]×従業員数[人] 排熱量[Tcal/y]=0.047×一次E投入量[Tcal/y]+53[Tcal/y]
非鉄	一次E投入量[Tcal/y]=0.54[Tcal/y・人]×従業員数[人] 排熱量[Tcal/y]=0.17×一次E投入量[Tcal/y]+6.3[Tcal/y]
清掃	排熱量[Tcal/y]=0.48[Tcal/kt]×ごみ焼却量[kt]+9.8[Tcal/y]

次に、オフライン用の排熱については、使用する蓄熱材の性質を考慮して、130℃以上を高温排熱、70～130℃を低温排熱として回収可能な排熱と考え、回収可能量を集計した。また、オンライン用の排熱については、搬送動力や配管径の縮減を考慮すると熱媒は蒸気に限られ、排ガス等から蒸気を回収する場合、排熱温度は200℃以上が必要であることから⁷⁾、200℃以上の排ガスとすべての温度帯の蒸気を回収可能な排熱と考え、回収可能量として集計した。なお、住所情報は「工場ガイド」と横浜市・川崎市のホームページを参考にした。

(2) 民生部門熱需要量の推計方法

図-3の推計方法により、対象地域内の民生部門の熱需要量を100mメッシュ単位で求めた。対象建物用途は、熱需要量の大きさ、熱需要の時間的変動を考慮して、業務・商業・宿泊・行政・病院とした。また、対象熱用途は、年間を通じて安定して熱供給を行うこと

図-3 民生部門熱需要量の推計方法

図-4 GIS操作による建物用途別 100m メッシュ内
延床面積の推計方法

を考え、冷暖房・給湯とした。この5つの建物用途の延床面積を100mメッシュ単位で集計し、これに各建物用途の単位床面積あたりのエネルギー消費原単位を乗じて、100mメッシュあたりのエネルギー需要量を算出した。

a) 100mメッシュ内の建物用途別延床面積

100mメッシュ内における業務・商業・宿泊・行政施設の建物用途別延床面積の算出は、横井ら⁹⁾が用いた方法を参照した。使用したデータは、都市計画基礎調査建物現況調査⁹⁾と細密数値情報¹⁰⁾である。図-4に示すように、都市計画基礎調査の町丁目別建物用途別延床面積データと細密数値情報の10mメッシュ土地利用データをGIS上で重ね合わせることによって、町丁目内に存在する10mメッシュの建物用途別平均延床面積を算出した。

さらに、100mメッシュ図形データと10mメッシュ土地利用データをGIS上で重ね合わせることによって、100mメッシュ内の建物用途別10mメッシュ数を算出した。最後に、各町丁目、100mメッシュ、10mメッシュ数の対応関係を取り、下記の式より100mメッシュ内建物用途別延床面積を推計した。

$$\text{100mメッシュ内建物用途別延床面積} = \sum_{k=1}^n \left[\left(\frac{\text{町丁目内の建物kの延床面積}}{\text{100mメッシュ内の町丁目数}} \right) \times \left(\frac{\text{100mメッシュ内の建物kの10mメッシュ数}}{\text{100mメッシュ内の町丁目数}} \right) \right]$$

病院に関しては、数値地図2500¹¹⁾から対象地域内の病院名を抽出し、これら病院について全国病院名鑑¹²⁾に記載されている延床面積データを利用した。延床面積が記載されていない病院については、地域別の病床数と病院の延床面積の関係から推計する方法¹³⁾と、数値地図からGIS操作によって病院の建築面積を求め、これと病院のHPから得た階数データを乗ずる推計方法を用いた。

図-5 オフライン用年間高温排熱回収可能量の分布

図-6 夏期の高温需要(冷房)の分布

b) 100mメッシュ内エネルギー需要量

冷房・給湯・暖房の3つの利用用途に関して、a)で推計した100mメッシュ内建物用途別延床面積に年間エネルギー消費原単位^{14,15)}、月別負荷パターンを乗じ、メッシュ内の建物用途別月別熱需要量を推計した。その上で、これを1ヶ月の日数である30または31で除し、これに時刻別負荷パターンを乗じることで、メッシュ内の時刻別エネルギー需要量を夏期・中間期・冬期別に推計した。なお、夏期は8月、中間期は4月、冬期は1月のデータを用いた。

4. GISデータベース構築の結果

京浜臨海部周辺地域における排熱回収可能量（オフライン熱供給システム用）と民生部門の熱需要量分布の算定結果の一部を、それぞれ図-5と図-6に示す。これを見ると、工場からの高温排熱は主に臨海部から排出され、夏期における高温熱需要は神奈川区東部、新横浜駅・川崎駅周辺部で大きくくなっていることが分かる。

さらに、図-7に対象地域内の回収可能排熱量（オフライン熱供給システム用）と熱需要量を示す。工場からは冷房需要に対応する高温排熱が多く、需要の多い冷房需要を満たすことができる。低温排熱量は高温排熱に比べて少ないが、給湯・暖房需要へは高温排熱も利用することができることを考慮すると、対象地域内の熱需要は、工場から回収可能な排熱で十分に賄うことができる。

図-7 回収可能排熱量と熱需要量の関係
(オフライン熱供給システム用)

5. 熱供給システム導入効果の分析

オンライン熱供給システムは、熱導管を介して排熱を蒸気で供給することから、大量に熱を搬送できる反面、供給先が近隣の大口需要家に限られる。一方、オフライン熱供給システムは、大量に熱を輸送することができないものの、排熱を蓄熱材に蓄え、トラックによって遠距離輸送や個別需要家へのコンパクトな輸送が可能になるというメリットがある。したがって、2つの熱供給システムの導入による環境負荷の削減効果を分析するとき、工場－需要家間の距離と熱需要量（熱需要密度）は、その結果を左右する非常に大きな要因であると考えられる。そこで、これらを主要なパラメータとした分析モデルを構築し、熱供給システムの導入効果を明らかにする。

図-8 オフライン熱供給システムの導入効果の分析手順
(E：エネルギー)

(1) オフライン熱供給システムの導入効果

分析の枠組みを図-8に示す。まず、対象地域内のすべての100mメッシュから、工場－需要家間の距離が1km以内、5km以内、10km以内のものを抽出し、さらに日平均熱需要量が2,150Mcal（コンテナ1台分）以上、4,300Mcal（同2台分）以上、8,600Mcal（同4台分）以上のメッシュを抽出した。この計9通りの需要家導入ケースについて、後述する工場からの供給可能排熱量と需要家の利用可能排熱量を算出し、実際に工場から供給される排熱の導入量を算出した。この導入量から、削減できた1次エネルギー量とCO₂排出量を求めた。

熱供給に関する導入量の算定に際して、a)～c)の前提条件を設定した上で、d)、e)の手順で排熱導入量、省エネルギー量とCO₂排出削減量を算出した。

a) 需要側熱源機器の設定

排熱による代替によって削減される1次エネルギー量とCO₂排出量を算出するために、既存の熱源機器とシステム導入時の機器を設定した。これら機器の設定と効率を図-9に示す。

b) 排熱利用先の優先順位

排熱の利用先として、冷暖房・給湯需要を設定した

図-9 熱源機器の設定

が、冷房、暖房と給湯では同量の排熱で代替した時の省エネルギー量、CO₂削減量が異なる。そこで、CO₂削減量が大きくなる給湯、暖房、冷房の順に利用するとした。

c) 蓄熱コンテナの運用における制約

実用化間近であるオフライン熱供給システムでは、図-10に示す蓄熱コンテナやトラックが開発・利用されているが¹⁰⁾、その設置スペースの確保はオフライン熱供給の事業化の一つの制約となる。本研究では、この制約を想定し、工場側と需要家側で利用できるコンテナの台数をそれぞれ1台と設定した。また、コンテナの運用スケジュールは、蓄放熱に要する時間を考慮

して、図-11に示すように設定した。図中の横軸は1日の時刻、実線と破線は各時間帯のコンテナの位置を示している。

すなわち、2台のコンテナを交互に需要家へ搬送する（1日に1台あたり2回）ことによって、排熱を安定的に供給することができる一方で、コンテナ運用の台数が制約となり、工場側が供給できる排熱量（供給可能排熱量）と需要側が受け入れて利用することができる排熱量（利用可能排熱量）に上限が設けられることになる。

以上から、本研究では上限をコンテナ4台分の8,600Mcal/dと設定¹⁷⁾した上で、供給側（工場）で回収可能排熱量のうちの供給可能排熱量、および需要側での利用可能排熱量を算定した。その手順については、次項に示す。

d) 導入量の算出方法

まず、1工場から1メッシュへの排熱供給を考えた。このとき、供給可能な高温および低温排熱量の合計が大きい工場から熱需要量の大きいメッシュへ優先的に供給するとした。このような供給方法によって、導入に伴う設備投資を最小限に抑えることができる。

図-12に、供給可能排熱量と利用可能排熱量から導入量を算出する手順を示す。各工場の高温・低温排熱の供給可能量と各メッシュの給湯・暖房・冷房利用可能量を比較することによって、排熱導入量を算出した。工場排熱の供給可能量が需要家の利用可能量を上回る場合は、次に利用可能排熱量が大きい需要家へ余剰分を供給し、需要家の利用可能量が工場の供給可能量を上回る場合は、次に供給可能量が大きい工場から供給するように設定した。このような1工場から1メッシュへの供給を、回収可能量が利用可能量のどちらかがゼロになるまで繰り返した。そして、それぞれのメッ

図-10 蓄熱コンテナとトラック車両（参考文献 16）

図-11 コンテナの1日の運用

図-12 導入量算出フロー（オフライン）

シュへ供給した排熱量を積み上げて、需要家への排熱導入量を算出した。

e) 省エネルギー量、CO₂排出削減量の算出方法

d)で算出した導入量から、省エネルギー量およびCO₂削減量を算出した。算出手順を図-13に、使用し

図-13 省エネルギー量およびCO₂削減量の算出方法（オフライン）

表-2 省エネルギー量とCO₂削減量の算出に用いたデータ (オフライン)

算出に用いたパラメータ		データソース
熱源ポンプ動力	7.5 kW	(株)三機工業:低温排熱を用いた多元的熱供給による省エネ対策技術(PCMによる熱輸送技術)開発
コンテナ1台分の蓄熱量	2,150 Mcal/台	同上
燃費(軽油)	3.63 km/L	同上
発熱量(軽油)	9.01 Mcal/L	資源エネルギー庁:エネルギー源別発熱量一覧表(本表)
CO ₂ 排出係数(電気)	0.366 kg-CO ₂ /Mcal	環境省:算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧
CO ₂ 排出係数(都市ガス)	0.206 kg-CO ₂ /Mcal	同上
CO ₂ 排出係数(軽油)	0.287 kg-CO ₂ /Mcal	同上

たデータを表-2に示す。省エネルギー量は、排熱による代替によって削減できる1次エネルギー量から、オフライン熱供給システムの導入によって追加的に消費されるポンプ動力と輸送燃料の消費量を差し引いて算出した。CO₂排出削減量も同様に、1次エネルギー消費に伴うCO₂排出の削減量から、ポンプ動力と輸送燃料の消費に伴う排出量を差し引いて求めた。

(2) オンライン熱供給システムの導入効果

分析の枠組みを図-14に示す。従来の研究では、オンライン熱供給システムの導入可否の目安として、「熱負荷密度1Tcal/y以上」が用いられている¹⁸⁾。そこで、この条件を満たすメッシュを抽出し、さらに既存の地域熱供給システムの熱搬送距離を考慮して、工場-需要家間の距離が500m以内、1km以内、2km内のものを抽出した。この計3通りの需要家導入ケースについて、オフライン熱供給の場合と同様に、削減された1次エネルギー量とCO₂排出量を求めた。

導入量の算出フローを図-15に示す。熱供給に関する導入量の算定条件はオフライン熱供給の場合と大きく変わらないが、オンライン熱供給システムでは、排熱の供給可能量と利用可能量に上限値が存在しない点

図-14 オンライン熱供給システムの導入効果分析手順 (Eはエネルギー)

図-15 導入量算出フロー (オンライン)

が異なる。導入量から省エネルギー量、CO₂排出削減量を算出する方法は、文献¹⁹⁾を参考に図-16のように設定した。また、使用したデータを表-3に示す。省エ

●省エネルギー量[Mcal/y] =一次E削減量[Mcal/y]-熱損失量[Mcal/y]-熱搬送動力[Mcal/y]	
●一次E削減量[Mcal/y]	=排熱利用量[Mcal/y]÷機器効率[-]
●熱損失量[Mcal/y]	=単位熱損失[Mcal/m・h]×利用相当時間[h]×搬送距離[m] =単位熱損失[Mcal/m・h]×排熱供給可能量[Mcal/h]÷排熱利用量[Mcal]×搬送距離[m]
●熱搬送動力[Mcal/y]	=所要動力[Mcal/y]×利用相当時間[h] =163×流量[m ³ /min]×圧力損失[mAq]÷ポンプ総合効率×排熱利用量[Mcal]÷排熱供給可能量[Mcal/h]
●CO₂削減量[kg-CO₂/y] =一次E削減分[kg-CO ₂ /y]-熱搬送動力分排出量[kg-CO ₂ /y]	
●一次E削減分[kg-CO ₂ /y]	=一次E削減量[Mcal/y]×CO ₂ 排出係数[kg-CO ₂ /Mcal]
●熱搬送動力分排出量[kg-CO ₂ /y]	=熱搬送動力[Mcal/y]×電気のCO ₂ 排出係数[kg-CO ₂ /Mcal]

図-16 省エネルギー量およびCO₂削減量の算出方法 (オンライン)

エネルギー量は、排熱による代替によって削減できる1次エネルギー量から、熱搬送の際に放熱によって失われる熱量と搬送動力にかかる1次エネルギー量を差し引いて算出した。CO₂削減量も同様に、1次エネルギー消費に伴うCO₂排出削減量から、搬送動力分の排出量を差し引いて求めた。

6. 熱供給システム導入効果の分析結果

オフラインおよびオンライン熱供給システムの各導入ケースにおけるCO₂削減量の算出結果を図-17に示す。10km以内でコンテナ1台分以上の熱需要がある需要家にオフライン熱供給システムを導入するケースでCO₂排出削減量は最大となり、対象地域内のCO₂排出量を約18%削減できることが明らかになった。また、オフラインおよびオンライン熱供給システムの導入によるCO₂削減率を比較すると、1km以内のコンテナ4台分以上の需要家を対象とするケースを除くすべてのケースにおいて、オフライン熱供給システムの方がCO₂削減率は大きく、最大で約12%の差が生じることがわかった。

ここで、図-18にオフライン熱供給システムで最も排熱を導入できたケース（10km以内のコンテナ1台分以上の需要家を対象とするケース）、図-19にオンライン熱供給システムで最も排熱を導入できたケース（2km以内の需要家を対象とするケース）における排熱の回収可能量・供給可能量、熱需要量、排熱利用可能量・導入量を示す。オフライン熱供給システムに関しては、工場から回収可能な排熱量や需要家での熱需要量が、コンテナのスペースや蓄放熱に要する時間などから設定した前提条件によって大幅に小さくなっており、特に工場から回収可能な排熱量の約20%しか導入できない結果となった。

一方、オンライン熱供給システムに関しては、回収可能な排熱のすべてを導入することができるが、もと

表-3 省エネルギー量とCO₂削減量の算出に用いたデータ（オンライン）

算定に用いたパラメータ		データソース
単位熱損失量	130 kcal/m ² ・h	(株)日本環境技研:未利用熱エネルギー導入基盤整備調査
単位圧力損失量	6.16 mmA/m	同上

図-17 オフラインおよびオンライン熱供給システムの導入によるCO₂削減量と削減率

もと回収できる排熱量が少なく、また導入できる需要家も少ないために、オンライン熱供給システムの排熱導入量507 Tcal/yに対して、オフライン熱供給システムの排熱導入量は505 Tcal/yと少し小さくなることが明らかになった。

7. おわりに

本研究では、地域での排熱利用を検討する際に重要となる供給側での排熱発生量、需要側での熱需要量を算定するプロセスを構築し、GISデータベースを作成した。具体的には、供給側では排熱量が多いと考えられる7業種の工場から排出される排熱の温度、排熱種を考慮し、入手が容易な従業員数データと焼却量データから回収可能な排熱量の推計方法を構築した。需要側に関しては、熱需要量が多いと考えられる5つの建

図-18 排熱の需給関係（オフライン）

図-19 排熱の需給関係（オンライン）

物用途について、100mメッシュ単位で冷暖房・給湯の熱需要量を推計する方法を構築した。

これらの作成したGISデータベースを活用することによって、

- ・ 街区レベルで民生部門の熱需要量と位置の把握
- ・ 工場排熱の温度別排熱回収可能量と位置の把握

が可能になった。このGISデータベースは、排熱供給を検討する基礎データとして利用することができ、排熱供給事業者や自治体等が排熱の有効利用を図る際に利用可能なツールであると言える。また、算定プロセスには汎用性の高いデータを使用しているため、他の多くの都市に適用可能なデータベース構築方法であると考えられる。

次に、作成したGISデータベースを活用して、オフラインおよびオンライン熱供給システムの導入効果を分析した結果、CO₂排出削減量は、近隣の大口需要家のみを対象とするケースではオンライン熱供給システムの方が大きくなるが、遠方の熱需要の小さい需要家まで導入範囲を広げることによって、オフライン熱供給システムの方が大きくなり、京浜臨海部周辺地域のCO₂排出量を最大で18%削減できることが明らかになった。同時に、オフライン熱供給システムの導入効果は、コンテナスペースや蓄放熱時間等の制約条件に大きく影響を受けることが明らかになった。

オンライン熱供給システムでは新たに熱供給プラントを建設する必要があるが、オフライン熱供給システムでは、供給側と需要側に熱交換器と熱媒油ポンプの追加のみが必要となる。本分析では、熱供給システムの導入による施設や設備の追加に伴う環境負荷を含めていないが、これらを考慮すれば、さらにオフライン熱供給システムの優位性が高まる可能性が予想される。

今後の課題としては、熱供給システムにかかわる関係主体（排熱供給者、熱供給事業者、需要家）が負担するコストの評価、コンテナスペースの有無や多寡などの詳細なデータの活用による前提条件の見直し、その見直した前提条件による感度解析の実施などが挙げられる。

参考文献

- 1) 神奈川県商工労働部工業振興課編：平成16年度神奈川県工業団地、2005。
- 2) 神奈川県：「京浜臨海部排熱エネルギー有効利用方策調査（みなとみらい21における産業排熱有効利用）」報告書、2005。
- 3) (財)省エネルギーセンター：「工場群の排熱実態調査研究要約集」、2001。

- 4) 吉田聡、渡辺健一郎、佐土原聡、村上處直：工場排熱の地域冷暖房への利用可能性に関する調査研究—工場排熱原単位の作成と神奈川県におけるケーススタディ—、日本建築学会計画系論文集、No.497、pp.53-58、1997。
- 5) (株)データフォーラム：「工場ガイド神奈川改訂第2版」、2003。
- 6) 環境省：「平成17年度 一般廃棄物処理実態調査結果」—施設整備状況、入手先：<http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h17/index.html>
- 7) 川崎市：「川崎殿町・小島・浮島地区エネルギー有効活用システム策定等調査報告書」（平成18年度地域省エネルギービジョン策定等事業実施報告書）、2007。
- 8) 横井隆志、山本祐吾、齊藤修、盛岡通：小地域内で廃棄物・バイオマス由来の電力・熱を融通する地域エネルギー供給による効果の算定システムの構築、環境システム研究論文集、Vol.35、pp.109-119、2007。
- 9) 神奈川県：平成12年度神奈川県都市計画基礎調査第8集（上）「建物用途（基本集計）」
- 10) 国土交通省国土地理院：細密数値情報（10mメッシュ土地利用）、(財)日本地図センター、2002。
- 11) 国土地理院：数値地図2500（空間データ基盤）関東4、日本地図センター、2006。
- 12) 厚生問題研究会：「全国病院名鑑1998年度版」、1998。
- 13) 厚生労働省大臣官房統計情報部編：「医療施設調査（動態調査）病院報告（全国編）平成17年 上巻」、厚生統計協会、2007。
- 14) (社)日本エネルギー学会編：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル2005、日本工業出版、2005。
- 15) 尾島俊雄研究室：「建築の光熱水原単位〔東京版〕」、早稲田大学出版部、1995。
- 16) (株)三機工業ホームページ：<<http://www.sanki.co.jp/product/thc/index.html>>
- 17) (株)三機工業編著：平成16年度地球温暖化対策技術開発事業「低温排熱を用いた多元的熱供給による省エネ対策技術（PCMによる熱輸送技術）開発」成果報告書、2005。
- 18) 福井徹、吉田聡、佐土原聡：日本におけるエネルギー面的利用期待地区の抽出に関する研究 その1、日本建築学会学術講演梗概集、pp.737-738、日本建築学会、2006。
- 19) 日本環境技研(株)：平成16年度新エネルギー等導入促進基礎調査「未利用熱エネルギー導入基盤整備調査」報告書、2005。

EVALUATION OF CO₂ EMISSION REDUCTION BY OFF-LINE SUPPLY SYSTEM OF EXHAUST HEAT GENERATED FROM INDUSTRIAL PLANTS

Satoshi KATAYAMA, Yugo YAMAMOTO, Osamu SAITO and Tohru MORIOKA

An off-line heat supply system has been developed to enable industrial exhaust heat transfer to the distant user with very little heat loss. In this paper, we developed a GIS-based decision support system to estimate the spatial distribution of exhaust heat generated from industrial plants. Using the support system we evaluated CO₂ emission reduction by introducing an off-line heat supply system in the Keihin industrial waterfront area, Kanagawa prefecture. The result showed that an off-line supply system of exhaust heat would reduce CO₂ emission by 12% , compared with an on-line supply system.