

15. CO₂総量削減義務下における街区CDMの検討

水村 竹秀^{1*}・奥田 隆明²

¹野村総合研究所（〒100-0005東京都千代田区丸の内1-6-5）

²名古屋大学大学院環境学研究科（〒466-8601名古屋市千種区不老町）

* E-mail:t2-mizumura@nri.co.jp

我が国の京都議定書目標達成計画改定により、低炭素型の都市・地域デザインの必要性が高まっている。これを受け、地域熱供給を活用した街区レベルでの省エネ対策の重要度が増してきている。一方、東京都において、大規模オフィスビル等を対象としたCO₂総量削減義務と排出量取引制度が導入予定である。本研究では、東京都の上記制度を活用した街区レベルでのCO₂削減対策である街区CDMを提案した。具体的には、CGSを用いた地域熱供給により街区内でCO₂が削減され、その排出枠を市場で売買するものである。そして、ケーススタディにより事業性評価を行い、有効な街区用途構成の検討を行った。その結果、排出権価格が上昇するシナリオにおいて、事務所と住宅の組み合わせが有効となった。また、排出枠の購入を考慮すると、投資回収年数が最短となる更新タイミングが存在することが確認された。

Key Words : Clean Development Mechanism , Co-Generation System, District Heating and Cooling, CO₂ Emissions Trading Scheme, Low-carbon City

1. はじめに

現在、都市政策としての地球温暖化対策の必要性が高まってきている。2007年度末には政府の京都議定書目標達成計画が見直しされ、都市・地域における低炭素化が標榜された。今後、集約型都市構造への転換と街区レベルでの環境対策がより一層求められ、都市開発等においても省エネルギー対策はますます重要になることが予想される。こうした状況の中で、いわゆる地域熱供給（DHC: District heating and cooling）に期待が集まっている。2005年時点で日本国内の154地区にこの地域熱供給が導入されているが、海外と比較するとまだその普及水準は低い。これは、気候条件が異なることや熱供給の位置づけが都市基盤の中では弱いことが原因と考えられるが、鉄道駅周辺への都市機能集約によるコンパクト化と、それにあわせた熱源機器の集約による省エネ化を目指すのであれば今後DHCの拡大が必要になると考えられる。

こうしたエネルギー面的利用を後押しする施策としては、「エコまちネットワーク整備事業」に代表される各種補助制度が拡充されつつある。しかし、近年DHCの供

給面積増加は鈍化傾向にあり、こうした原因としては、例えば「エコまちネットワーク整備事業」の場合、基本的に都市再生緊急整備地域に適用が限定され、多くの市街地に適用できる施策となっていないこと、また、昨今の厳しい財政状況下で補助金頼みの政策にも限界があり、省庁側としては環境対策に積極的な団体にしか補助金を回せないことなどが指摘されている。

一方で、東京都ではCO₂削減対策が企業にとっての明確な経営経費となるよう、2010年度よりCO₂総量規制と排出量取引制度の運用を開始予定である。この制度下で大規模事業所は知事が定める割合の削減義務を負い、超過削減分は排出枠の売却が可能であり、不足すれば購入もできる。それ以外の事業所についても排出枠の売買が可能のため、実質的に多くの事業所に省エネへのインセンティブが働くと予想される。特に、大規模事業所が中小事業所等に対して省エネ投資を行い、排出量取引を行ういわゆる国内版CDM（Clean Development Mechanism）にも期待が寄せられている。こうした制度を活用すれば、大規模事業所が熱源機器を更新する場合に、その周辺の中小企業も取り込んだ熱供給事業を展開し、中小事業所のCO₂排出削減分を排出量取引制度によって売却するこ

とも可能になるものと考えられる。

そこで、本研究では、コージェネレーション（CGS：Co-generation system）を用いた国内版 CDM 事業の可能性検討を目的とする。具体的には、まず都市政策における省エネルギー施策である DHC の導入支援を排出量取引制度によって推進する「街区 CDM」を提案する。そして、この CDM 事業の特性を明らかにするために、街区の用途構成、排出権価格の変動等を考慮した上で、こうした CDM 事業の事業採算性について定量的な評価を行う。

2. 街区CDMの提案

ここでは、街区 CDM 実施にあたっての詳細を述べる。

まず、事業主体についてどのようなものが想定されるのかを述べる。主に駅前等に立地し、都市機能集約の核となるような大規模事業所（削減義務あり）が本スキームの事業主体として適当と考えられる。機器導入と導管敷設に伴う費用をこの事業所が負担し、新たに周辺への供給義務を負うこととなる。CGS で発電された電力および熱は基本的に全て街区内で消費される。

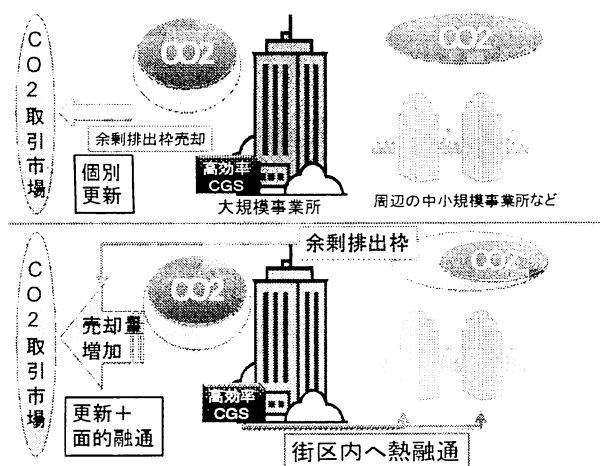


図-2.1 街区 CDM のスキーム

本研究では、この図-2.1 に示すようなスキームを「街区 CDM」と称することとする。ここで、本提案における各主体に生ずる利点のうち、重要と思われるものを以下に記し、続いて事業側と政策側の論点をまとめる。

- 1) 事業主体の利点：創出排出枠の増大だけでなく、中長期的に当該大規模事業所が排出枠獲得に有利な関係を街区内で構築する。
- 2) 供給先の利点：高効率機器の共有や余剰能力の統合により無駄を排除する。既設機器廃止によりメインテナンスを省力化する。
- 3) 行政側の利点：削減義務のない事業所の省エネルギー

一化への取り込みと ESCO の普及拡大を促進し、補助金に頼らない省エネ化スキームを構築する。

街区 CDM では、大規模事業所の周辺を設備投資対象に取り込むことで、CO₂ 余剰排出枠の売却増加を狙っている。経年後も機器更新を再び行う必要があるため、中長期的に見ても街区内の排出枠獲得に有利であると考えられる。また、熱源機器の更新は、建物個別に行われることが一般的だが、機器集約化は負荷合成により機器の稼働率を上げ、各建物の無駄な余剰能力をカットできる。ただし、供給範囲の一律拡大は、費用負担の問題を考えるとあまり現実的ではない。なぜなら、街区 CDM では排出枠を大規模事業所に移転するかわりに、当該大規模事業所が初期投資を負担する仕組みであるから、一定の排出枠確保が見込めない事業所は本スキームでは不利となり、逆に多くの排出枠が見込める事業所は有利となる。この点については、街区内用途構成が焦点になると考えられる。例えば、病院やホテルは熱需要が大きい、また事務所は電力需要が大きいといった特性があり、これを踏まえた事業性評価を行う必要がある。

政策的な点では、大規模事業所が削減義務を負う中で、削減義務のない中小事業所でいかに削減していくかが焦点となる。全ての大規模事業所が高効率機器を導入できるとしても、それは都内全事業所の4割に留まることを意味する。残り6割の中小事業所は耐用年数の経過した既存機器を継続使用する可能性が高い。熱源機器の法定耐用年数は15年であるが、20年、30年使用されることも決して珍しい話ではない。更新時に高効率機器を導入しなければ、今後20～30年のその建物の環境性能を規定してしまう要素となりかねない。ボリュームの大きいバブル期竣工の建築物の更新期到来もあり、都市の低炭素化を進める上では重要な局面を迎えつつある。

以上、事業者側、行政側からの論点を述べたが、まずは事業採算性および用途構成に関する定量的評価が不可欠である。

3. 街区CDMの分析モデル

本スキームの評価を行うにあたっては、いくつかの方法が考えられるが、建築設備更新に関わる判断には従来から単純回収年数が汎用的に使用されており、比較評価に適していると判断しこれを採用する。評価モデルの全体像は図-3.1に示す。なお、図中のCASCADE IIIについては後述する。

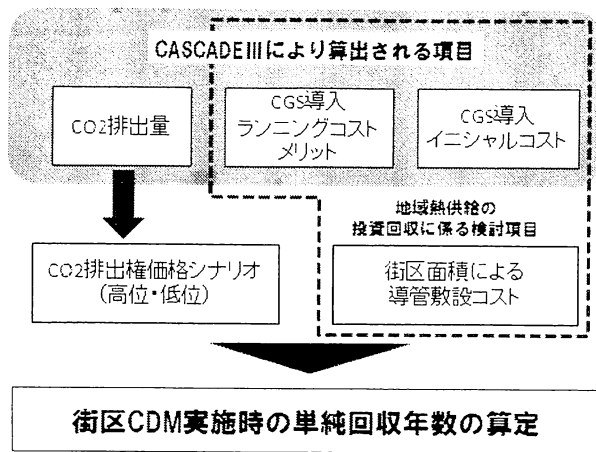


図-3.1 評価モデルの全体像

単純回収年数を算出するためには、 IC ：（機器および導管に関する）イニシャルコスト、 ΔRC ：（機器更新により発生する）ランニングコストメリットという2項を算定することが不可欠である。 IC はさらに、CGSに関わる項： C_{CGS} と、導管敷設に関わる項： C_p で表現される。 ΔRC はCGSに関わる項： M_{CGS} と CO_2 排出枠に関わる項： M_{CO_2} で表現される。

$$IC = C_{CGS} + C_p \quad (3.1)$$

$$\Delta RC = M_{CGS} + M_{CO_2} \quad (3.2)$$

従来、単純回収年数を算定する場合は、 IC を ΔRC で除して求めるが、本研究では ΔRC については約束期間や設備投資時期により毎年同じ値にならないため、 IC から各年の ΔRC を順次差し引いていき、初めて負の値になった時点で回収完了とし算定した。

回収年数は省エネルギー事業の評価指標として重要なものであり、いくつか試行を重ねることが実際に事業検討を行う際には不可欠である。また、各種省エネ投資に関しての投資許容限界年数は様々に言われているが、東京都環境科学研究所のヒアリング(1999年実施)によれば、4～6年での回収を望むという回答が最も多く5割、2～3年と7～10年が2割程度であり、11年以上では検討の余地はほとんどないという状況である。

しかしながら、ESCO事業の拡大により、7～8年程度の投資回収を要する事業であっても採算にあえば案件が増加していくのではないかと考えられる。

(2) CASCADE IIIによるシミュレーション

C_{CGS} 、 M_{CGS} および CO_2 排出量の算定には、都市ガスによるコージェネレーション評価プログラムCASCADE III

（空気調和・衛生工学会頒布）を用いる。CASCADE IIIは、一般に複雑な計算が必要なコージェネレーションの評価をEXCEL上で実行できるよう作成されたプログラムである。

建物用途ごとの月別時刻別代表日負荷データ、各種熱源機器（平成15年のトップランナー水準）の効率を内蔵し、最少5項目（建物用途・規模・発電機の機種・容量・台数）の入力で、省エネ性、環境性、経済性の評価が可能である。事務所、店舗、ホテル、病院、スポーツ施設の5種類については、代表日の月別時刻別負荷データ（電力・冷房・暖房・給湯）が用意されており、住宅については文献⁹⁾より負荷データを得ている。

用途ごとの負荷パターンの組み合わせ次第では、CGSの省エネ効果は大きく変動することが予想されるため、月別時刻別の代表日負荷データを用いることで、用途の組み合わせに関する評価を精度良く行うことを可能としている。一般にCGSの発電機の特徴が最も良く発揮される状態は、最高負荷で定格出力運転する場合である。したがって、複数の負荷パターン合成による負荷平準化や、自家発電により電力基本料金を抑えることができる点が、用途複合化の利点といえる。

発電機設定に際しては、(i) 電力負荷追従運転、(ii) 熱の廃棄を極力発生させない、(iii) 最大電力需要量の1/2を目安に発電機総容量をおく、(iv) 回収年数10年を概ね下回ることを条件とし設定した。

また、機種は発電効率を重視しガスエンジンとした。発電効率については、各種カタログ等を参照した結果、デフォルト値をそのまま用いても結果に大きく影響を及ぼさないと判断した。

CGS導入前に存在する比較システムは、ターボ冷凍機と蒸気ボイラを用いたものとする。なお、現在ターボ冷凍機はインバーター化が進み大幅に効率が向上しているが、ここでは置き換えという前提があるので、機器効率はデフォルト値を採用している。なお、街区ごとの既存システムは明らかではないので、注意されたい。

電力料金については東京電力のものを、ガス料金は東京ガスのCGS用料金を参考にした。

(3) 導管敷設コスト

導管敷設コスト C_p は、街区の形状や道路状況、地盤状況等により幅のある値となることが一般的であるが、本研究においては街区CDMの事業評価に力点を置いているため、どのような街区であっても平均的な概算値が把握できる方法を検討した。

そこで、全国のDHCについて供給街区面積と導管延長の相関を検討したところ、比較的良好であったことからこれを採用した。

これにより、ある街区面積（図-3.3横軸：供給面積に同じ）における導管延長[m]が図-3.3内の回帰式により求まり、それに設定した導管単価[円/m]を乗ずることで、一義的に C_p を算出できる。なお、全国のDHC地区のデータを用いているが、寒冷地に見られる温熱供給のみの地区や空港島のように明らかに街区と見なせないものについては除外した。

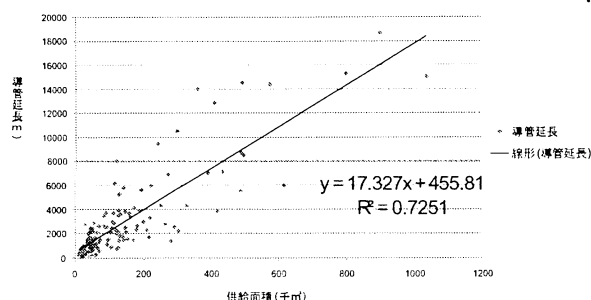


図-3.3 導管コストの算定

(4) 余剰排出枠売却益

余剰排出枠売却益 M_{CO_2} の算定は、CASCADEⅢにおいて算定されたCGS導入前後の CO_2 排出量と、 CO_2 排出権価格及び削減義務率を与えることで求められる。

$$M_{CO_2} = \{ (\text{街区全体の排出削減量}) - (\text{削減義務量}) \} \times (CO_2 \text{ 排出権価格}) \quad (3.3)$$

$$\text{削減義務量} = (\text{大規模事業所の基準排出量}) \times (\text{削減義務率}) \quad (3.4)$$

大規模事業所単独での省エネ対策では、削減義務達成に必要な排出枠は自ら創出し、必要量を確保した上で、余剰の確定排出枠を削減した次年度以降に売却することとなる。街区CDMでは、主たる事業者は大規模事業所に該当しない熱供給先での余剰排出枠を売却できるため、自らの分と合算してより多くの利益を得られることになる。

複数建物で高効率熱源を共有することにより CO_2 は削減されるのだが、CGSの稼働状況によって削減量は変動する。建物内部で必要となる熱量を電力量で割った値を熱電比という。熱電比は建物の用途によって異なり、ホテルや病院では大きく、オフィスビルやデパート等では比較的小さい。CGSの出力側の熱電比が、建物の需要する熱電比と大きく異なる場合、システムとしての効率は下がる。また、住宅等では熱需要のピークと電力需要のピークがずれている建物もあり、このような場合も同様である。近年では、こうした場合に対応するため、生成する熱電比をある程度変えられるCGSも登場している。以上を踏まえると、街区CDMの事業性評価においては、

用途構成の検討が重要といえる。

また、基準排出量の決定にあたり、制度開始以前の省エネ投資実績が都に認められれば、数年前の基準に緩和されるため、排出枠の創出が有利になる。こうした点が街区CDMの成否を左右する可能性がある。

なお、分析に必要な CO_2 排出権価格シナリオについては、次章で説明する。

4. 分析結果

(1) 街区設定と計算条件

ケーススタディを行う街区の用途別床面積を表-4.1に記す。

表-4.1 各ケーススタディ街区の条件

街区名	街区面積 [ha]	事務所 [㎡]	店舗 [㎡]	住宅 [㎡]
豊洲	4.1	99,500	-	37,000
北千住	2.6	-	70,000	23,500
府中	2.7	30,400	75,000	19,500
白金	2.5	50,600	2,810	38,910

これらはすべて都内の鉄道駅前に立地する街区であり、豊洲・北千住は2用途、府中・白金は3用途で構成される。4街区すべてに削減義務を負う大規模事業所が必ず含まれており、豊洲・白金は事務所用途、北千住・府中は店舗用途がこれに該当する。

また、これらは都心型と郊外沿線型という、立地に基づいた分類が可能といえる。豊洲・白金は前者であり、街区内延床面積に占める事務所の割合が高く、高層住宅を擁していること、最寄り駅が地下鉄駅であること等が特徴的である。

一方、後者は北千住・府中のように店舗の占める割合が高く、都心から郊外に延びる鉄道路線の間接拠点駅である。いわゆる駅ビルに代表される商業施設立地に恵まれているが、容積率に関しては都心型と比較して必ずしも高いとは限らない。

(2) 価格シナリオ設定

分析にあたっては、東京都における排出量取引から決定される排出権価格についてシナリオを置く。

東京都では、2020年に CO_2 排出量2000年比25%削減を掲げ、それを確実に達成すべく2010年より5年ごとに約束期間を設け、各事業所に対して段階的に削減義務を達成させていくことを目論んでいる。第一約束期間は2010～2014年、第二約束期間は2015～2019年、2020年以降は執筆時点(2009年1月)での東京都の方針が明確ではないが、本制度が続くものとして扱う。排出権価格については、制度開始後の需給バランスで決定されるものであり、現時点での予測が極めて困難であることから、次の3点を

考慮し各期間中の平均価格として低位ケース・高位ケースの2通り設定した。

- 1) 2008 年の日経 JBIC 排出量取引参考気配（最安値：1,592 [円/t]・最高値 3,821 [円/t]）
- 2) 東京都が事業所に対して行った調査より判明した限界削減費用 (10,000~20,000 [円/t])
- 3) 削減義務率が段階的に引き上げられていくことで、排出権価格もそれにあわせて上昇。

表-4.2 CO₂ 排出権価格シナリオ設定 [円/t]

	2010 - 2014年	2015 - 2019年	2020年以降
低位ケース	3,000	5,000	7,000
高位ケース	11,000	13,000	15,000

(3) 4つの街区の比較結果

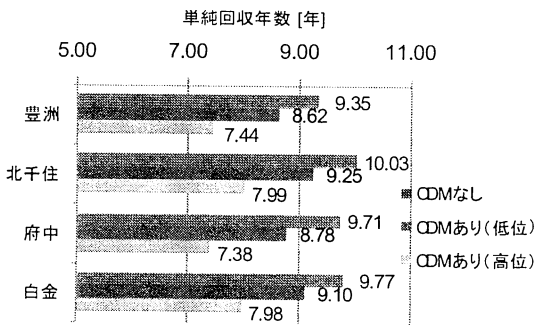


図-4.1 単純回収年数の比較

各街区とも街区 CDM の効果として回収年数を短縮することが認められるが、それぞれ短縮効果に差が生じている。CDM なしのケース（排出権価格が 0 の場合）と排出権価格高位ケースとの差が最も顕著な街区は府中であり、2.33 年短縮となった。対照的に、短縮効果が最も少なかった街区は白金で 1.79 年の短縮であった。

(4) 都心型・郊外沿線型街区の比較分析

a) 街区条件

前節では、店舗を中心に 3 用途が複合した府中が最も街区 CDM の効果が認められたが、現実には 3 用途がバランスよく存在する街区は限られる。しかし、2 用途の場合は、3 用途あるいは複数主体が絡む場合に比較して合意形成が容易と考えられ、回収年数について議論しておく余地は十分にある。よって、本節では、事務所または店舗床面積を固定のまま、住宅床面積を変化させた場合について分析を行う。

対象は東京メトロ豊洲駅周辺 4.1ha の街区（事務所・住宅）と JR 北千住駅前周辺 2.6ha（店舗・住宅）の街区である。

豊洲駅前の街区用途構成は事務所 99,500 m²、住宅 37,000 m²であり、うち事務所用途はすべて排出削減義務を負う大規模事業所に該当する。前節で示した CDM を行った結果をケース A とする。そして、住宅の規模の異なる仮想的な場合（ケース B~F）を検討し、単純回収年数がどのように変化するかを明らかにする。

ケース B~F の住宅床面積は、B:20,000~F:100,000 m²の間で 20,000 m²刻みとし設定する。なお、F の場合、街区面積 4.1ha に対して総延床面積は 199,500 m²となり、街区面積で単純平均した容積率は約 500%と、都内でも比較的高密な部類といえる。なお、更新前の比較システムは前節と同様である。

ここで、大規模事業所（事務所や店舗等）1 m²に対する住宅の比率という指標を導入し、街区間の比較を行う。この値を γ とし、以下のように定式化する。

$$\gamma = \frac{\text{住宅の床面積 [m}^2\text{]}}{\text{大規模事業所（事務所や店舗用途）の床面積 [m}^2\text{]}} \quad (4.1)$$

b) 都心型・郊外沿線型の比較結果

回収年数を短縮するためには M_{CGS} か M_{CO_2} のいずれかを大きくすることである。CO₂ 排出権価格の変動は M_{CO_2} に影響を与えるため、豊洲のケース A では高位と低位の差は 1.18 年の短縮効果として表れた。次に豊洲の B から順に見ていくと、住宅床面積の増加とともに単純回収年数は短縮傾向を見せた。特に夕方～夜間の熱需要増加とともに CGS のメリットが向上し、投資回収が早まったと考えられる。

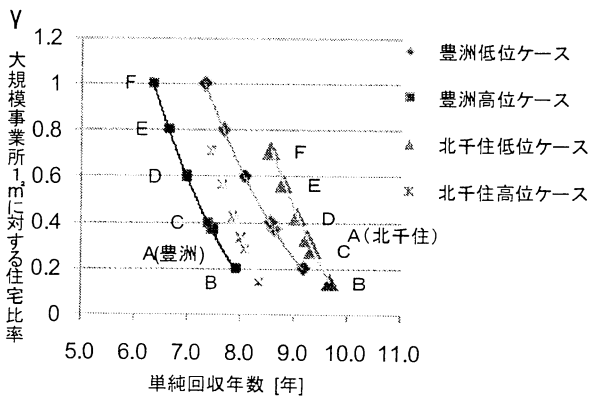


図-4.2 事業所 1 m²に対する住宅床面積比率と単純回収年数（豊洲・北千住比較）

次に豊洲・北千住間の比較に移る。 $\gamma=0.2$ の場合、低位ケースと高位ケースの差は 1.27 年である。これが $\gamma=1.0$ においては、この差が 0.97 年となる。つまり CO₂ 排出権価格高位ケースと低位ケースの回収年数の差

が γ の上昇とともに減少する傾向にある。この原因は、夕方～夜間で効率の劣る補助熱源を稼働させることによるCO₂排出量の伸びが影響したと考えられる。つまり、排出枠の算定は現行システムでのCO₂排出量からCGSでの排出量を差し引いて求めるため、排出枠の量がCGSの効率低下の影響を受けていると考えられる。ただ、その影響よりも街区CDMによる排出枠売却効果が卓越し、分布は全体として右下がりとなったと考えられる。

5. おわりに

本研究では、東京都で導入予定の排出量取引制度に基づき、エネルギー面的利用により創出される排出枠に着目し、集約型都市構造を実現する際に重要な駅前街区のエネルギー面的利用による省エネ化スキームを「街区CDM」と称し提案した。そして、機器更新にあわせて、周辺街区に熱導管を敷設し需要を取り込んだ場合について、投資回収年数を評価した。

その結果、排出権価格分の投資回収短縮効果を定量的に把握することができた。また、用途構成によって街区CDMに対する有利不利があることから、エネルギー面的利用まで見据えた都市計画による建物用途誘導も必要であるといえる。

参考文献

- 1) 佐土原聡 (2007) : 既存建物間熱融通による地域冷暖房の新しい展開, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.877-878.
- 2) 尾崎哲也・佐藤英明・吉野昇・中村眞一・孟 歌辛: 業務用ビルの省エネルギー対策とその削減効果に関する調査, 東京都環境科学研究所年報 1999, pp.249-257, 1999
- 3) 空気調和・衛生工学会: 都市ガスによるコージェネレーション評価プログラム-CASCADEIII, 2003.
- 4) 日本エネルギー学会: 天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル, 日本工業出版, 2005
- 5) 日本熱供給事業協会: 熱供給事業便覧平成 17 年版, 2005.
- 6) 国際協力銀行: 排出権市場レポート「最近の排出権市場の動向について(2008 年 12 月 10 日改訂)」, http://www.joi.or.jp/carbon/report/pdf/200901_01.pdf
- 7) 東京都都市整備局市街地整備部企画課: 東京都における市街地再開発事業の概況, pp.80-91, 155-158, 425-429, 474-476., 2007

(2009??受付)

Study for district CDM under obligation of CO₂ emissions reduction

Takehide MIZUMURA¹, Takaaki Okuda²

¹Nomura Research Institute

²Graduate school of environmental studies, Nagoya University

As the Kyoto Protocol Target Achievement Plan was revised, there is growing need for design of low-carbon cities and districts. Thus, energy conservation measures utilizing the district heating and cooling (DHC) become increasingly important. Meanwhile, the Tokyo metropolitan government has decided to introduce mandatory emissions reduction quotas, and an emissions trading scheme targeting large office buildings, etc. This study proposed the CO₂ reduction measure, “District CDM (Clean Development Mechanism)”, which is applied the Tokyo’s scheme. Specifically, CO₂ emissions are reduced by DHC utilizing CGS (Co-Generation System) and the emissions are traded. As a case study, effects of District CDM are evaluated. As a result, on the rising up scenario of CO₂ emissions prices, it derived that the optimum combination consists of office and residence. Considering purchase of carbon credit, there is an optimal point to minimize payback period of investing in CGS.