

## 街区・地域スケールの総合エネルギー評価指標に関する研究

(株)日建設計総合研究所 丹羽英治  
東京ガス(株) 工月良太  
(株)日建設計総合研究所 林 立也  
(株)日建設計総合研究所 松縄 堅  
東京ガス(株) 土方教久

キーワード： 低炭素まちづくり、 総合エネルギー評価指標、 スマートエネルギーネットワーク

### 1. はじめに

#### (1)低炭素まちづくりを推進する政策動向

持続可能な社会づくりのため、建築物、街区、地域における更なる省エネルギー、低炭素化が求められている。これは 2011 年 3 月の東日本大震災とその後の電力需給逼迫の経験を経て、我が国ではさらなるエネルギー効率向上のため、官民あげての取組みが一層重要となっている。

2012 年 12 月に施行された「都市の低炭素化の促進に関する法律(略称:エコまち法)」<sup>1)</sup>は、都市機能の集約化や建築物の低炭素化などの施策を通じた低炭素まちづくりを促進・支援する目的で制定された。同法の施行タイミングに合わせ、国土交通省、経済産業省、環境省の 3 省共管で発行された、「低炭素まちづくり計画作成マニュアル」<sup>2)</sup>には、標準的な施策として、以下の 7 つの施策が記載されている。

※)低炭素まちづくり計画作成マニュアル(国土交通省、経済産業省、環境省) 標準的な施策例

- ① 都市機能の集約化を図るための拠点となる地域の整備その他都市機能の配置の適正化
- ② 公共交通機関の利用促進
- ③ 貨物の輸送の合理化
- ④ 緑地の保全及び緑化の推進
- ⑤ 非化石エネルギーの利用及び化石燃料の効率的利用に資する施設の設置のための公共施設の活用
- ⑥ 建築物の低炭素化の促進
- ⑦ 自動車の運行に伴い発生する二酸化炭素の排出抑制の促進

さらに、3 省は上記施策のうち「⑥建築物の低炭素化の促進」の一環として、「低炭素建築物認定制度」を創設した<sup>3)</sup>。認定を受けた建築物にはインセンティブを付与し、更なる低炭素化の誘導を図ろうとしている。

低炭素建築物の認定基準には BEI(Building Energy Index)という一次エネルギー消費量ベースの評価指標が採用されている。これは設計消費量と基準消費量との比(設計消費量/基準消費量)で定義され、値が小さいほど優れる。具体的な BEI の値は、省エネ性の適合判定よりも厳しい水準に設定され、省エネ性の適合は BEI が 1 を下回ることとされたのに対し、低炭素建築物は 0.9 を下回ることを要件としている。算定要領は後述する。

#### (2)街区・地域スケールの総合エネルギー評価指標の必要性

上で述べた低炭素まちづくりの施策のうち、本報では「⑤非化石エネルギーの利用及び化石燃料の効率的利用」に焦点を当てる。今後、各地で国や自治体の支援を受けた低炭素まちづくりプロジェクトが様々な形で実施されることが期待される。一方で、今後は以下の観点から、当該プロジェクトの計画段階でパフォーマンスを定量的に評価するための BEI のような指標が必要になると考えられる。

- ① 当該地区・地域において公益性の高い取組みについては、設備の公共空間占用を認めるようなケースが考えられ、そのための判断根拠が必要
- ② バリュー・フォー・マネー最大化の観点から、補助金等のリソースの適正配分のための拠り所が必要
- ③ 継続的なパフォーマンスのモニタリングを通じ、インセンティブ付与等の要件を適切に見直していくための実測・検証が可能な指標が必要

我が国ではこれまでのところ、主に地域熱供給を対象として、文献<sup>4),5)</sup>にみられるように、熱需要に範囲を

限定したエネルギー効率評価が試みられてきたが、電力を含む総合的なエネルギー評価指標は共通の「ものさし」がない状況にある。

しかし、今後、街区・地域スケールでのエネルギーマネジメントを行うインフラとして期待されるスマート・グリッドやスマートエネルギーネットワークの形成を促進するためには、電力・熱の代替性を考慮し、「プロシューマ」も視野に入れた需要側と供給側が連携したシステムを扱える、総合的なエネルギー評価指標が必要不可欠である。また東日本大震災の影響もあり、再生可能・未利用エネルギーなどの地産地消型のエネルギーの普及には今後一層の弾みがつくことが想像され、街区・地域のエネルギー性能を議論するうえでは熱供給だけではなく、多様な電力供給源を含めた総合的なエネルギー評価指標の確立が重要と考えられる。

そこで本報では、低炭素建築物認定基準として導入された BEI に倣い、街区・地域スケールの総合的なエネルギー評価指標の基本的な考え方について整理し、今後のより具体的な検討に資することを目的とする。

## 2. 街区・地域スケールの総合エネルギー評価指標の考え方

### (1) 低炭素建築物認定基準 BEI の算定要領

国土交通省、経済産業省、環境省の3省は、告示<sup>3)</sup>で低炭素建築物の認定基準を示している。具体的には一次エネルギー消費量が CO<sub>2</sub> 排出量を代表するとの考え方にに基づき、図 1 に示す算定要領を定めた。

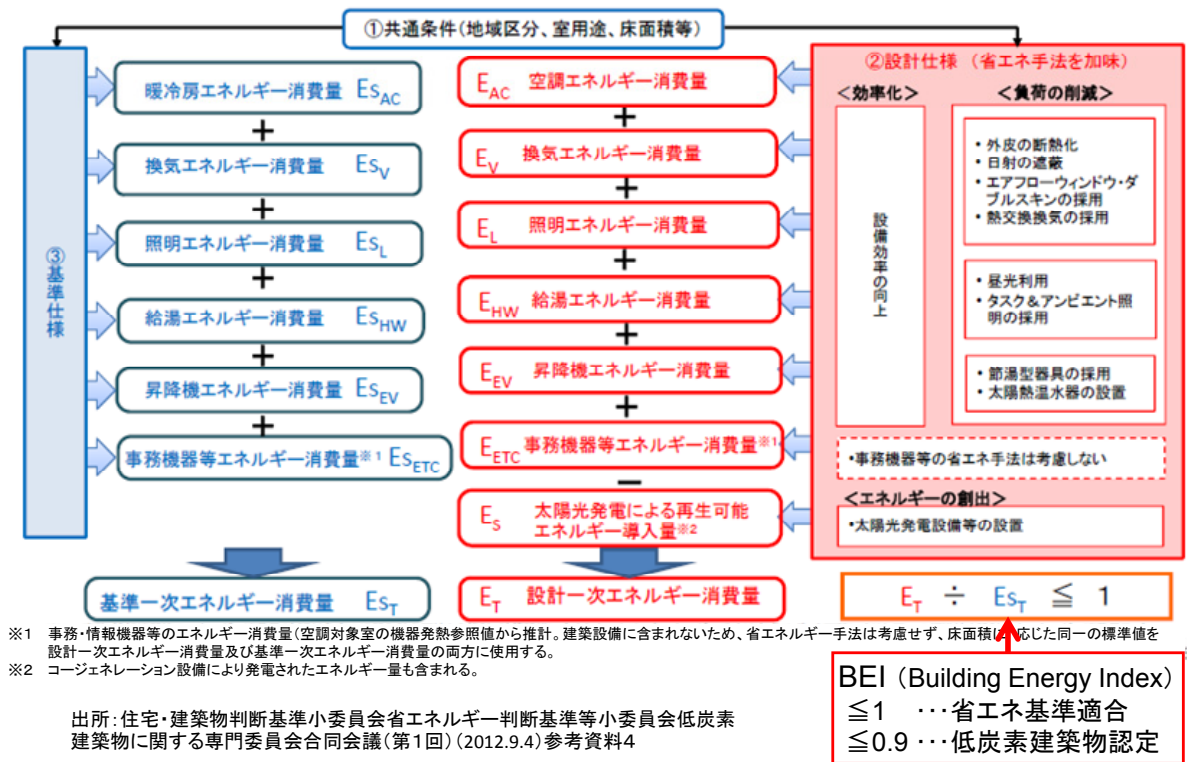


図 1 低炭素建築物認定で用いる BEI の算定要領

同認定制度では BEI に加え、「選択的項目」として、節水、エネルギーマネジメント、ヒートアイランド対策、躯体の低炭素化のうちいくつかの対策が取組まれていること、もしくは標準的な建築物と比べ低炭素化に資する建築物として所管行政庁に認められることを求めている。

### (2) 街区・地域スケールの総合エネルギー評価指標 (CEI) の提案

上に述べた低炭素建築物認定に用いる指標 (BEI) は、建築物単体レベルで、電力・熱の両者を一次エネルギー量に換算して統一的に扱い、再生可能エネルギー等も扱える評価体系になっていると言える。本報では、これを街区・地域レベルに拡張し、街区・地域スケールの総合エネルギー評価指標 CEI: Community Energy Index (仮称) を検討した。その基本的な考え方を図 2 に示す。

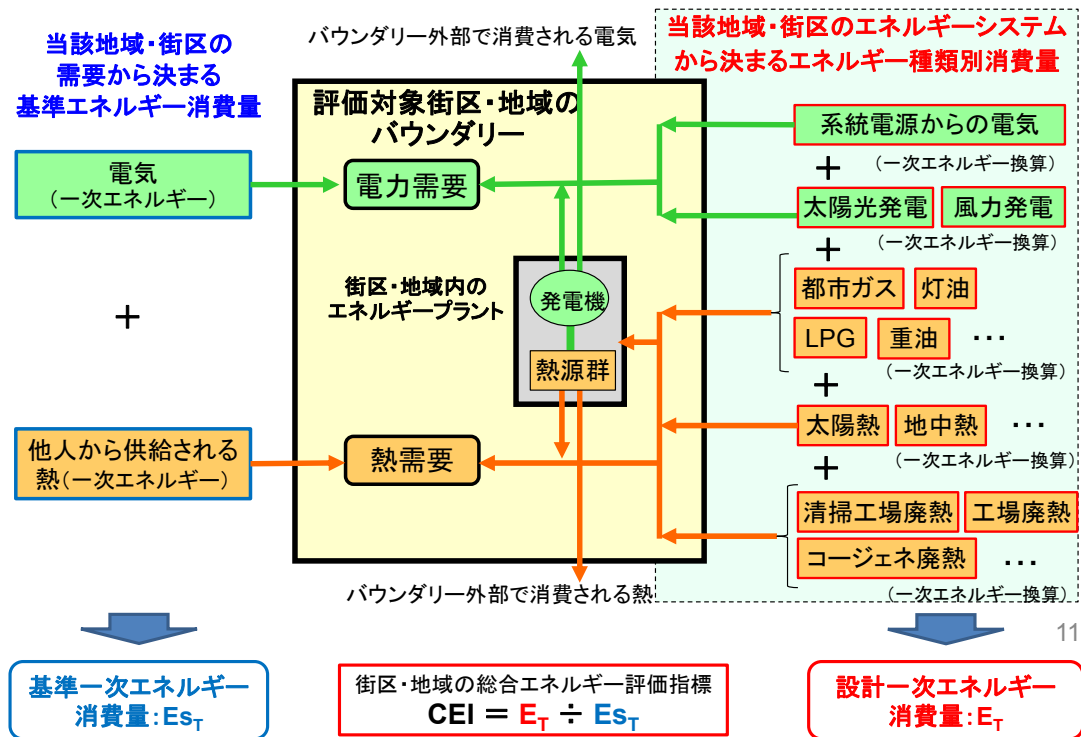


図2 提案する街区・地域スケールの総合エネルギー評価指標の考え方

以下に、図2に示した評価指標の考え方について、算定手順を従って説明する。なお、ここで扱う一次エネルギー消費量の単位は、年間積算値、たとえばGJ/年とする。

①対象街区・地域のエネルギー需要の算定

対象とする街区・地域のバウンダリーを設定する。具体的にはエコまち法が規定する集約型都市開発事業<sup>5)</sup>が対象とする事業エリアなどが考えられるが、地域熱供給エリアを対象とすることもできる。さらに、バウンダリー内部のエネルギー需要を、電力と熱に大別して算定する。

②基準一次エネルギー消費量と、設計一次エネルギー消費量の算定

i)基準一次エネルギー消費量の算定:

電力需要は前述の告示<sup>3)</sup>別表第6に定める「電気」によって、熱は「他人から供給された熱」によって賄われると想定し、これらを別表第6の規定に従い一次エネルギー消費量に換算し合計する。

ii)設計一次エネルギー消費量の算定:

エネルギーシステム計画に基づき、①の需要を満たすために外部から供給を受ける電力、燃料、熱を、それぞれ一次エネルギー消費量に換算し合計する。換算係数については別途定める必要がある。

③総合エネルギー評価指標(CEI)の計算

$CEI = [\text{設計一次エネルギー消費量}] \div [\text{基準一次エネルギー消費量}]$ を計算する。CEIはBEIと同様に1を下回ることが期待されるが、悪いケースでは1を超えることもあり得る。

④その他の要件(「選択的項目」に相当)について

低炭素化建築物認定の要件として告示<sup>3)</sup>で規定された「建築物の低炭素化の促進のために誘導すべきその他の基準」に倣い、たとえば以下のような要件を併せて定めていくことが考えられる。

- ・街区・地域スケールの水の再利用
- ・街区・地域内の熱融通ネットワークとの接続
- ・街区・地域スケールのエネルギー管理システム(しばしばCEMSと呼ばれる)の導入
- ・バウンダリー外への依存を高めることなくピークカットを図る取組み
- ・所管行政庁が認める総合評価(住宅・建築物におけるCASBEE\*に相当するもの)

\*Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency

### 3. 再生可能エネルギー・未利用エネルギー等を利用した場合の扱いについて

スマートエネルギーネットワークの形成に伴い、再生可能エネルギーや未利用エネルギー起源の電力、熱がエネルギーシステムを行き交い、またエネルギーの消費主体の中にも供給側の機能を併せ持った「プロシューマ」が活躍することが考えられる。バウンダリーの設定の仕方によっては内部で生産されたエネルギーを外部で消費することも当たり前になる。

2. で提案した総合エネルギー評価指標 CEI では、こうした要素を例外的にではなく、統合的に扱う必要がある。以下に、それらについての取扱いについて述べる。

#### 3.1 用語の定義

##### (1)再生可能エネルギー

本報で述べる再生可能エネルギーは、エネルギー供給構造高度化法の第2条第3項<sup>6)</sup>で定義されるものとし、非化石エネルギー源のうち、エネルギー源として永続的に利用することができるものとして政令に定められるものとし、以下を指すものとする。

- ①太陽光、②風力、③水力、④地熱（※エネルギー供給構造高度化法施行令第四条）、⑤太陽熱、⑥大気中の熱その他の自然界に存する熱、⑦バイオマス

##### (2)未利用エネルギー等

未利用エネルギー等とは、地中熱・下水熱等の温度差エネルギー（夏は大気よりも冷たく、冬は大気よりも暖かい水）や、清掃工場等の排熱といった、今まで利用されていなかったエネルギー源を総称して呼ぶ。このエネルギー源の一部には、自然界に存するものも含まれ、これらは上述した再生可能エネルギーにおける「大気中の熱その他の自然界に存する熱」と同義であるため、本報では、再生可能エネルギー以外のものとして再定義し、以下等を指すこととする。

- ①生活排水や中・下水の熱、②地下鉄や地下街の冷暖房排熱 ③高圧地中送電線からの排熱、④発電に伴う排熱、⑤変電所の廃熱、⑥清掃工場廃熱、⑦工場の廃熱

##### (3)バウンダリーの内部で生産され、外部で消費される電力、熱

外部で消費される電力、熱のうち、電力は全量が有効利用されると考えるが、熱については、バウンダリー内で変換が完了し、温度や圧力が最終消費形態になった状態で送出されることを前提とする。したがって、たとえばバウンダリー内の排熱を外部にそのまま送出する場合は、最終消費形態への変換に要する一次エネルギー相当量は減じる必要がある。

#### 3.2 総合エネルギー評価指標への反映方法

バウンダリーの外から再生可能エネルギーや未利用エネルギーを導入し活用する場合、総合エネルギー効率指標への反映は、前節で述べたとおり一次エネルギー換算することにより原則的な考え方をそのまま踏襲することができると考えられる。以下にいくつかの例を示す。

##### (例 1) 太陽光発電が導入された場合 (図 3)

太陽光発電を導入した場合は、一次エネルギー原単位が 0 (単位はたとえば MJ/MJ) の電力を得ることにより、系統電源からの電力消費が低減することで対象システムの CEI が小さくなる。

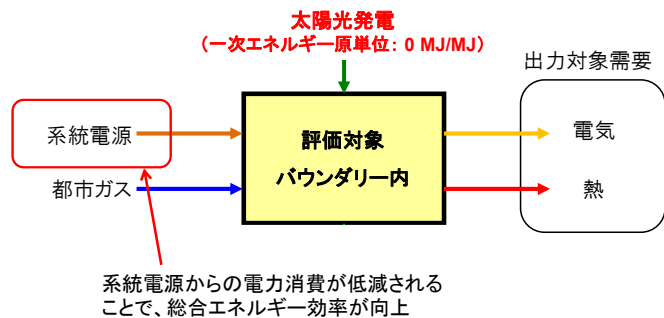


図 3 太陽光発電が導入された場合

##### (例 2) 未利用エネルギー起源の熱が外部から供給された場合 (図 4)

バウンダリー外部から未利用エネルギー起源の熱 (発電に伴う排熱、清掃工場廃熱など) を

受入れた場合、熱の直接利用や冷凍機熱源燃料としての活用により、系統電源からの受け入れ電力消費量、都市ガスの消費量等が低減する。この場合、当該未利用エネルギー原単位が 0 あるいは「他人から供給される熱」の原単位より小さければ、対象システムの CEI は小さくなる。ただし、同じ 1MJ の熱でも温度の違いによるポテンシャルの差異の考慮について様々な主張があり、原単位の共通の算定基準等については議論が収束していない。

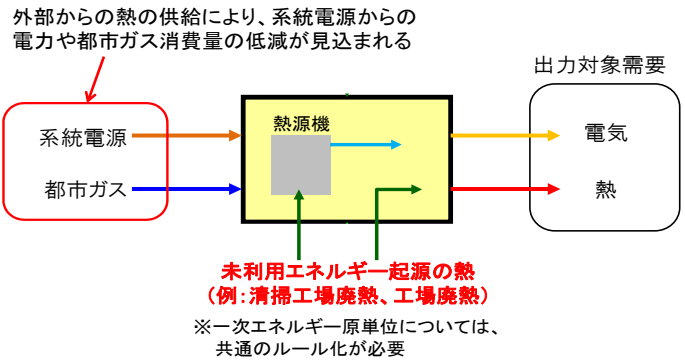


図 4 未利用エネルギー起源の熱が外部供給された場合

(例 3) 地中熱利用等の温度差熱利用をした場合 (図 5)

地中熱を熱源として利用した場合、地中温度が大気温度よりも年間を通じて安定した温度帯を保つことから、ヒートポンプ (HP) の期間 COP が向上し、大気熱を活用した空冷、水冷式のヒートポンプに比べて効率が向上し、系統電源からの受け入れ電力消費量が低減する。

地中熱は再生可能エネルギーとして扱われるため、一次エネルギー消費量原単位は 0 であり、熱源効率が向上した分、CEI は小さくなる。

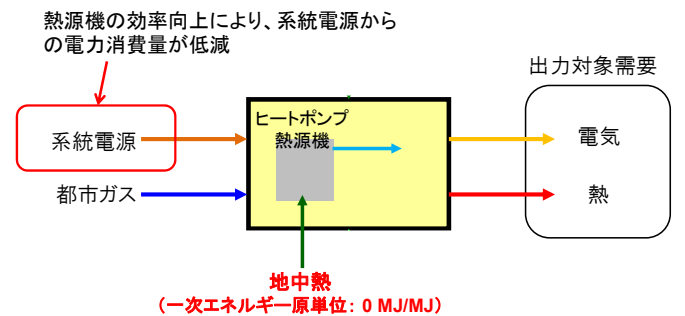


図 5 地中熱利用等の温度差熱利用をした場合

(例 4) バウンダリー内でバイオマスコージェネ等が産出した電力と熱を外部で消費する場合 (図 6)

バウンダリー外部へ送出した電力、熱をそれぞれ告示<sup>3)</sup>で規定される「電気」「他人から供給された熱」とみなして一次エネルギーに換算し、前章(2)②で計算された設計一次エネルギー消費量から差引く。その結果、対象エリアの CEI は小さくなる。

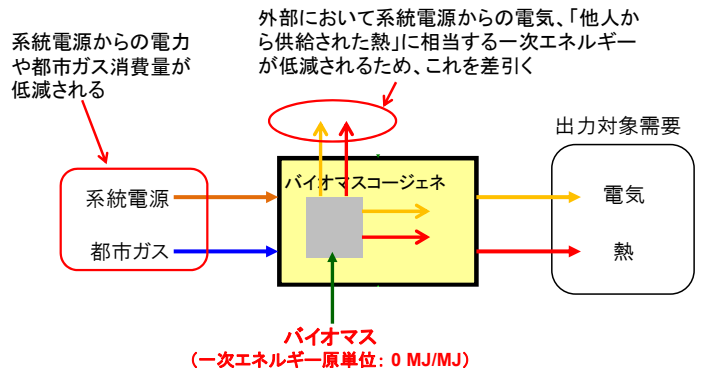


図 6 バイオマスコージェネの電力と熱を外部で消費する場合

#### 4. ケーススタディ

以上の考え方にに基づき、具体的なケースを設定し、評価を行った結果について述べる。

図 7 にケーススタディの対象とした街区を示す。街区①～⑦はいずれも業務系施設中心で、それぞれが個々に地域熱供給を行っているが、これらが隣接している特性を活かし、熱供給導管を街区間で連結するとともに、大規模なコージェネレーション発電機を設置し、電力の街区間融通および廃熱の融通も行うことを想定する。

各ケースの想定を表 1 ならびに図 8 に示す。これらのケースは文献<sup>9)</sup>の幾つかのケースに基づき設定した。

総合エネルギー評価指標の試算結果を表 1 に示す。

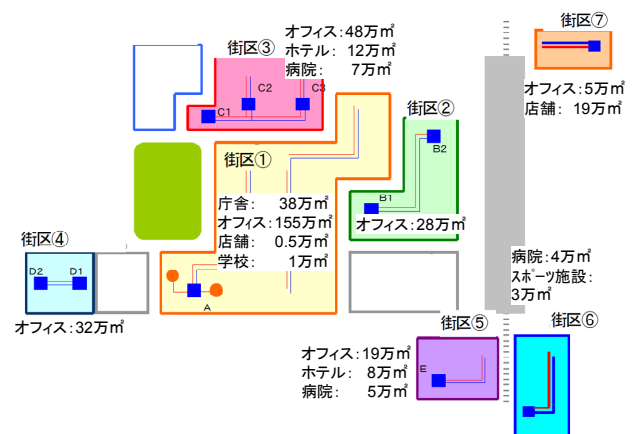


図 7 ケーススタディ対象街区 (ケース 1)

ケース 2、3、4 の順に低炭素化対策をより高度化し、その効果が指標に反映されていることが分かる。

表 1 各ケースの総合エネルギー評価指標 (CEI)

ケース	主な想定	基準 一次エネルギー 消費量	設計 一次エネルギー 消費量	CEI
ケース1	現状		11,466,945 GJ/年 (系統電力: 833,960 MWh/年 都市ガス: 327,495 GJ/年)	1.02
ケース2	街区①～③を連結	11,142,829 GJ/年 (電力: 772,060 MWh/年 熱: 2,732,972 GJ/年)	10,490,201 GJ/年 (系統電力: 833,960 MWh/年 都市ガス: 327,495 GJ/年)	0.94
ケース3	街区①～⑦を連結、 街区①に大規模発電		9,786,485 GJ/年 (系統電力: 833,960 MWh/年 都市ガス: 327,495 GJ/年)	0.88
ケース4	街区①～⑦を連結、 街区ごとに電源・熱源 を更新		9,351,260 GJ/年 (系統電力: 833,960 MWh/年 都市ガス: 327,495 GJ/年)	0.84

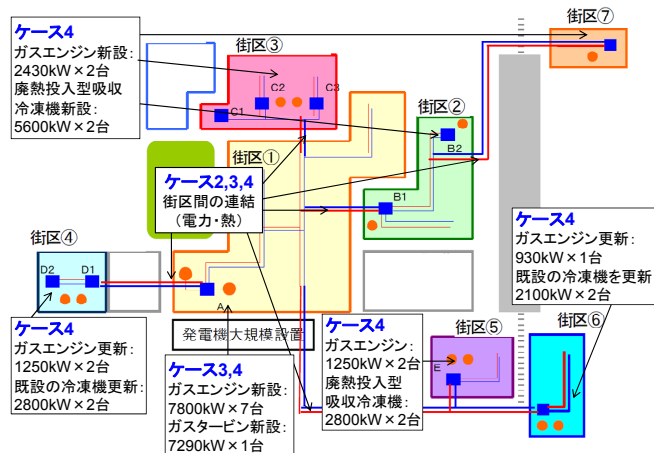


図 8 ケース 2,3,4 における街区ごとの想定

## 5. まとめと今後の課題

以下に本報のまとめを記す。

- (1) 都市の低炭素化の促進を目指す政策動向を踏まえ、各地で取組まれる街区・地域レベルの取組みに対し、公益性の付与や助成・支援の原資配分、将来的な基準引上げ等の観点から、電力・熱を統合的に扱う汎用性の高い総合エネルギー効率指標の必要性を述べた。
- (2) 建築単体レベルで導入された「低炭素建築物認定制度」で導入された一次エネルギー消費効率の考え方を拡張し、街区・地域スケールでの総合エネルギー評価指標 (CEI: Community Energy Index (仮称)) を提案した。
- (3) 将来的な街区、地域スケールでのスマートエネルギーネットワークの形成と、そこで活動する「プロシューマ」の間で流通し得るエネルギーとして、再生可能・未利用エネルギー、地域で産出した電力、熱の域外利用の場合の指標への反映方法を検討した。
- (4) 街区、地域スケールの低炭素化のケーススタディとして、地域熱供給街区の連結ならびに大規模コージェネレーション導入を含むケースを取上げ、提案した総合エネルギー評価指標の有効性を検証した。

今後の課題としては、需要密度の違いからくる指標の変化や、未利用エネルギー起源の熱の一次エネルギー換算方法などのルール化と、ケーススタディを通じた指標の検証が必要と考えられる。

### (参考文献)

- 1) 都市の低炭素化の促進に関する法律 (平成 24 年法律第 84 号)
- 2) 国土交通省・環境省・経済産業省: 低炭素都市づくり計画作成マニュアル, 2012.12
- 3) 建築物に係るエネルギーの使用の合理化の一層の促進その他の建築物の低炭素化の促進のために誘導すべき基準 (平成 24 年経済産業省・国土交通省・環境省告示第 119 号)
- 4) 村上公哉他: 地域熱供給システムのエネルギー効率の適正評価に関する研究-東京都の新制度における考察-, 空気調和・衛生工学会講演論文集 (山口), 2010.9
- 5) 林立也他: 街区・地域における総合エネルギー効率の評価方法についての研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (名古屋), pp1455-1458, 2011.9
- 6) 住宅・建築物判断基準小委員会省エネルギー判断基準等小委員会低炭素建築物に関する専門委員会合同会議 (第 1 回～第 3 回), 2012.9.4～9.19
- 7) 国土交通省: 集約型都市開発事業計画認定申請マニュアル, 2012.12
- 8) エネルギー供給事業者による非化石エネルギー源の利用及び化石エネルギー原料の有効な利用の促進に関する法律 (エネルギー供給構造高度化法) (平成 21 年法律第 72 号)
- 9) 丹羽英治他: まちづくりのためのカーボン・エネルギーシミュレーションツール開発 (第 1 報～第 4 報), 空気調和・衛生工学会講演論文集, 2008.9、2009.9、2010.9