

第5章 民生部門CO₂排出モデル及びシミュレーション

5.1 モデルの概要

5.1.1 モデルの基本的な方針

本モデルは、環境負荷（民生部門）低減のための施策の効果・影響等を簡易にかつ説得し得る形で評価するという観点から、土地利用等多くのパラメータを外生的に与える単純な原単位モデルとして構築する。

本モデルにおけるCO₂の排出量の検討に際しては、土地利用やその下での各種活動が（その活動量に応じて）CO₂を排出するという観点から、原単位法での推計を行う。また、原単位については、「住まい方の反映」等に留意する。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2\text{排出量} &= \text{都市活動諸量（世帯数、床面積等）} \\ &\quad \times \text{CO}_2\text{排出原単位（世帯数あたり、床面積あたり等）} \\ \text{ただし、CO}_2\text{排出原単位} &= f(\text{住まい方等}) \end{aligned}$$

なお、各種施策の効果・影響の検討に際しては、以下のような連関を考える必要があるが、その中で、モデル検討の考え方としては2つの考え方が存在する。

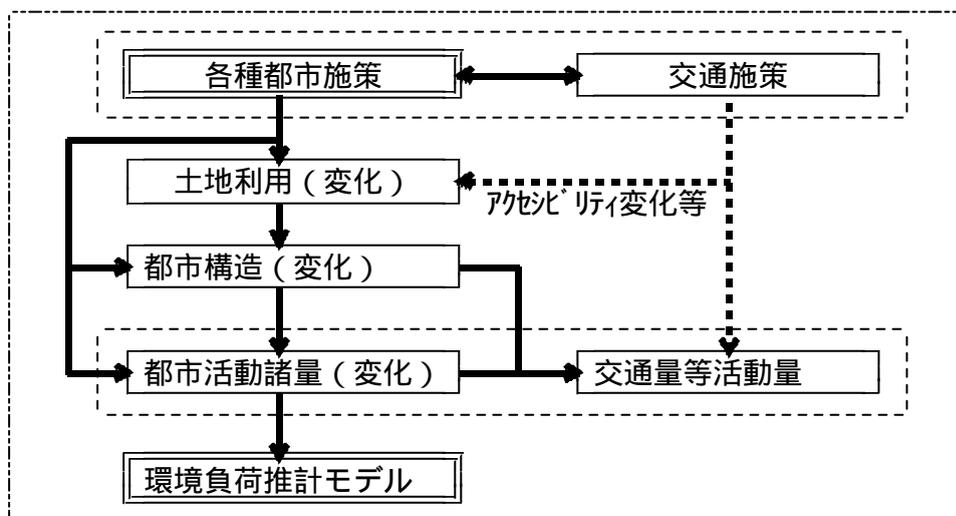


図5.1-1 施策と土地利用との連関

都市施策に伴う「土地利用変化 - 都市構造変化、そして都市活動諸量」を外生的に設定し、環境負荷を推計する。

都市施策（あるいは交通施策）に伴う各種変化あるいはフィードバック効果をモデル化し、都市活動諸量を内生的に求めた上で環境負荷を推計する。

特に交通施策を考えた場合には、施策 - 都市活動の連関を再現するという観点からはの考え方が適当であると考えられるが、推定部分が多くなるという課題も存在する。

これに関し、本研究においては、直接的に土地利用・都市構造に影響を及ぼす都市施策を対象にしていること、また、「地域の将来の姿」を描くことよりも施策の効果・影響を施策間で比較するという目的も踏まえ、 の考え方を中心として検討することとする。

5.1.2 部門・利用データ等について

(1) 家庭部門

家庭部門については、土地利用が住宅の形態や人口、あるいは世帯人員（世帯数）を決定するという考え方から、外生的に与えられた土地利用から内生的に得られる世帯人員等を活動量としてエネルギー消費・CO₂排出を推計する。

一般に、家庭（世帯）におけるエネルギー消費は、「世帯がエネルギーを用いる」という考え方から、世帯あたりの原単位を用い、推計することが多い。

その中で、世帯あたりの原単位は、世帯の人員に影響されることはもちろんのこと、世帯の住まい方 - 住居形態や生活水準等にも影響されている。

これらについて、本研究でのデータの取り扱いに留意して整理したものが下表である。

表5.1-1 家庭のエネルギー消費（原単位）に影響を与える要因

影響項目	要因	本研究での取り扱い
世帯数	・「家屋の数」という観点で影響	・世帯あたりの原単位で対応 国勢調査の世帯数（現況） 土地利用との関係で推定（将来）
世帯人員	・「居住者数」という観点で影響 ・リニアではなく逓減関係	・世帯人員あたりの原単位で対応 国勢調査の世帯数（現況）について、平均世帯人員数、もしくは世帯人員別の世帯数を設定。
居住形態	・木造・非木造（気密性等）という点で影響	・考慮せず（下記一戸建て / 集合住宅で考慮）
	・一戸建て / 集合住宅（上記の反映 + 部屋数等）で影響	・一戸建て / 集合住宅の別に原単位を作成。 国勢調査の結果から推定 都市構造との関連で整理

前ページにおける基本的考え方をふまえ、（ゾーン別）のエネルギー消費・CO₂排出推計は下式で算定する。

[エネルギー消費・CO₂排出量]

$$= (\text{戸建て住宅居住世帯数}) \times (\text{世帯あたり戸建て住宅排出原単位}) \\ + (\text{集合住宅居住世帯数}) \times (\text{世帯あたり集合住宅排出原単位})$$

ただし、

$$(\text{世帯あたり排出原単位(戸建て/集合住宅別)}) = f(\text{世帯人員})$$

(2)業務部門

業務部門についても家庭部門同様、土地利用からオフィスビルの形態等を推定しその形態や床面積をふまえてエネルギー消費・CO₂排出を推計することが考えられるが、これらの情報は直接的には得られないことから、仮定を置いての推定を行う。

一般に、業務部門としては、いわゆる非製造業に加え、製造業の管理部門、及び公共サービス等が含まれる。これについて、エネルギー消費・CO₂排出の推計は、「オフィス（建物）がエネルギー消費・CO₂排出に関わる」という考え方から床面積あたりの原単位から行うことが通常の見方である。

しかしながら、これらのストック面積の統計は必ずしも整備されていないことから、従業者人口あたり等の推計を行っている場合も少なくない。この場合、建物面積ストックと従業者人口の間に一意な関係を見出すことは困難であることから、家庭部門で念頭に置いているような都市構造施策の反映は必ずしも容易でない。

以上について、本推計では『法人建物調査』等のデータを用いることにより、床面積当たりの推計式を用いることとする。

[エネルギー消費・CO₂排出量]

$$= (\text{ゾーン内業種別床面積}) \times (\text{業種別床面積あたり排出原単位})$$

：業種区分は下表に準拠

表5.1-2 業種区分

本推計業種区分	従業者数（事業所企業統計報告）（市区町村別）
事務所	金融・保険業、不動産業
店舗・飲食店	卸売業、小売業、飲食店
学校	サービス業（教育業、学術研究機関）
病院・ホテル	サービス業（旅館・その他宿泊所、医療業、保健衛生）
その他	上記以外のサービス業

：（ゾーン内業種別床面積）

$$= (\text{ゾーン内建物床面積}) \times (\text{ゾーン内業種別従業者数割合})$$

(参考) 『法人建物調査』における把握項目

『法人建物調査』においては、各建物の延床面積の他、所在地や構造、建築年次等が把握されているが、建物の用途や建て方(階数)は把握されていない。

『法人建物調査』の調査項目は以下のとおりとなっている(調査票より)。表に見られるように、建物の用途等に関する情報は工場/それ以外のみしかない。

表5.1-3 法人建物調査の調査項目

調査年次等	平成10年(第1回)以降5年間隔の予定
所在地	(丁目、大字まで記入。9桁コードをアフターコーディング)
延べ床面積	(実数)
用途	工場, 工場以外
構造	1木造、2鉄骨鉄筋コンクリート造、3鉄筋コンクリート造、4鉄骨造、5コンクリート造、6その他
建築年次	1終戦前、2終戦時～昭和35年、3昭和36～45年、4昭和46～50年、5昭和51～55年、6昭和56～60年、7昭和61～63年、8昭和64・平成元年、9昭和2年、10平成3年、11平成4年、12平成5年、13平成6年、14平成7年、15平成8年、16平成9年、17平成10年

そこで、「ゾーン内業種別床面積」算出にあたっては、前ページの通り『法人建物調査』における「ゾーン内建物床面積」を「ゾーン内業種別従業者数割合」で按分することで推計することとした。

5.2 シナリオ設定

5.2.1 前提となるフレーム

(1)人口配置

モデル検討のシナリオは、交通モデルにおける人口配置 - 人口集中 / 分散シナリオ - を前提として考えることとする。

モデル検討のシナリオは、人口配置（及びその背景となる土地利用）について交通モデルと共通のものとする（交通モデルにおける設定を援用する）こととしている。その考え方の概要は以下の通りである。

人口フレーム

人口については、現国立社会保障・人口問題研究所の推計値（1997年）の宮城県分をコントロールトータルとして過去のP-T調査における仙台都市圏のシェア等をふまえ設定する。

- ・「将来」として、2020～2030年を想定する。
- ・「将来」の人口としては、人口研推計値に、2000年段階での仙台都市圏シェア（65.5%）をふまえ、165万人とする。就業人口、従業人口は仙台都市圏P-T調査における就業率、就従比から設定する。

人口配置

趨勢型の人口配置として、近年の夜間人口郊外化・従業人口都心一極集中の傾向が今後も継続するケースを想定する（趨勢型）。

人口配置のバリエーションの第1としては、従業人口を趨勢型での分布 - 都心型 - に固定し、夜間人口を従業人口分布に近づけるケース（都心居住型）を想定する。

また、第2のバリエーションとしては、夜間人口を趨勢型での分布 - 郊外型 - に固定し、従業地をこの分布に近づけるケース（副都心型）を想定する。

表5.2-1 都市構造別人口配置

	夜間人口配置	従業人口配置
趨勢型	・趨勢で延長 （郊外にスプロールした形状）	・趨勢で延長 （都心に集中）
都心居住型	・仙台市全体の増加分を右記従業人口の分布に併せ配置（郊外から都心へと集中）	・趨勢型と同様、趨勢で延長 （都心に集中）
副都心型	・趨勢型と同様、趨勢で延長 （郊外スプロール）	・仙台市全体の増加分を左記夜間人口の分布に併せ配置 （都心から副都心へと拡散）

(各ケースにおける人口分布)

夜間人口

従業人口

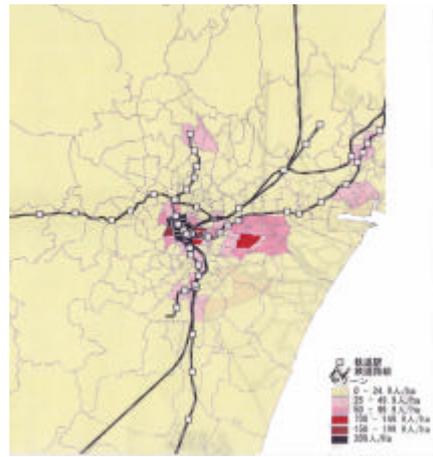
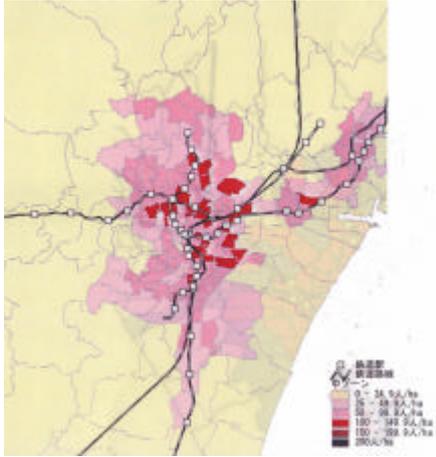


図5.2-1 趨勢型

夜間人口

従業人口

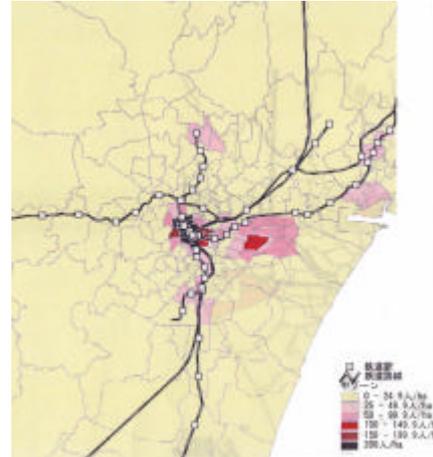
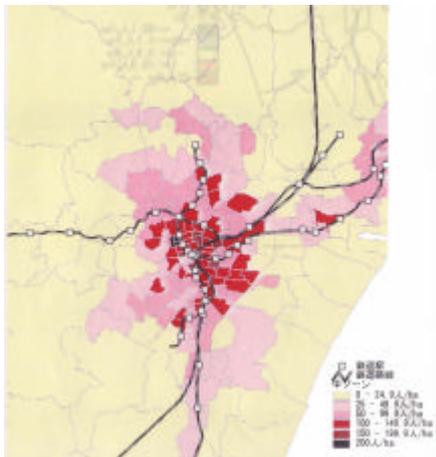


図5.2-2 都心居住型

夜間人口

従業人口

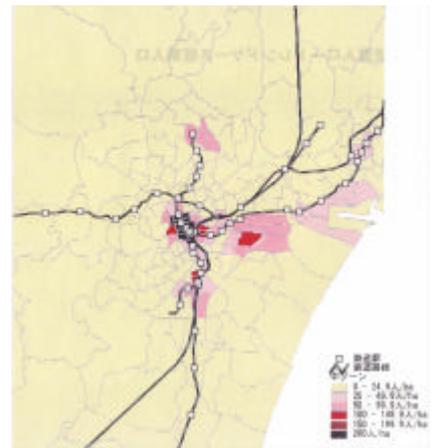
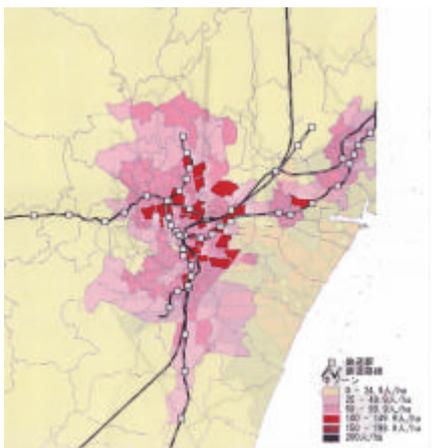


図5.2-3 副都心型

(2)世帯数・配置の動向

交通モデルからは得られない世帯数動向や将来の居住形態の動向等については、単純な仮定を置いた設定を行うこととする。

対象地域における世帯数等については交通モデルでは提示していないことから、一定の仮定をおいた設定を行うこととする。具体的には、現況の世帯数については、2000年国勢調査における圏域人口と世帯数との関係から総世帯数を設定するとともに、同調査における戸建て住宅居住世帯数と集合住宅居住世帯数の比を用いて設定した。

表5.2-2 現況の世帯動向

	人口(万人)	世帯(万世帯)
総数	151	60.9
戸建て	-	32.8
集合	-	28.1

現況の世帯数については、2000年国調人口と現況人口の比率で国調世帯数を調整。

5.2.2 対象施策の概要

(1) 戸建て住宅から集合住宅への転換

交通面への効果も念頭に、コンパクト化のための居住行動誘導施策として、気密性が高くエネルギー消費効率の高い集合住宅への転換を考える。

概要

交通エネルギーの削減から居住密度等を高めたコンパクトシティの形成が指摘されるところである。その具体的施策である集合住宅への居住促進は、集合住宅の気密性が高いこと等から戸建て住宅に比べ世帯当たり、あるいは人当たりのエネルギー消費原単位がより少なくなるという点も挙げられる。

これをふまえ、集合住宅への居住を推進することによりエネルギー消費の効率化を図ることが考えられる。ただし、「集合住宅のほうが狭いだから原単位は減る傾向」「狭いところに住めという施策はゆとり創出とは相反」という指摘も少なからず見られることから、以降の検討（設定）に際してはこれらも考慮する。

効果の設定

エネルギー経済研究所のデータをふまえ、世帯員当たり原単位を回帰分析した結果を下図に示す。

図から、集合住宅の一人あたり全エネルギー消費原単位は戸建て住宅に比べ半分程度であることが示唆されている。

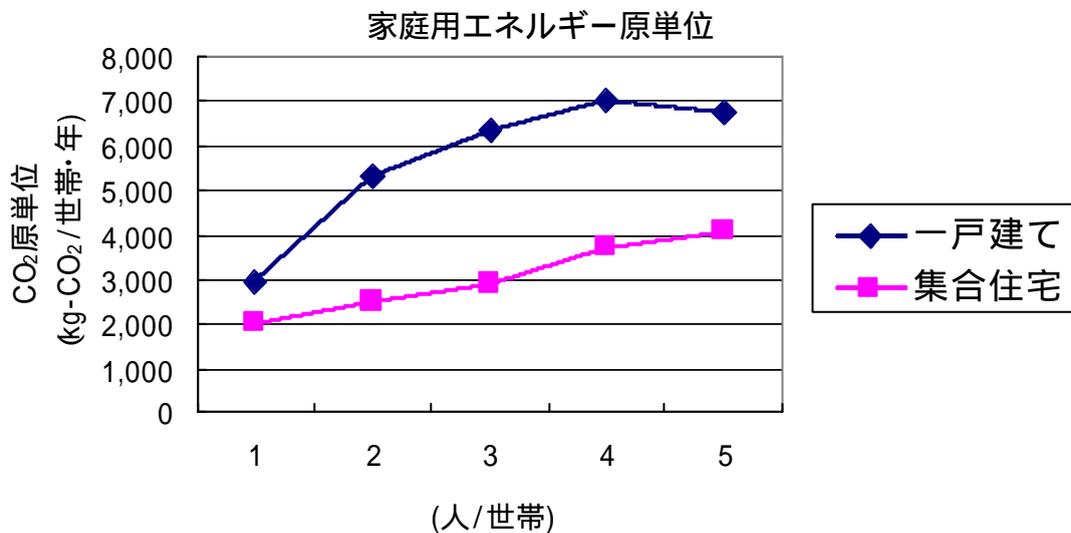


図5.2-4 世帯員当たり原単位の回帰分析結果

実際の設定に際しては、推計単位毎における平均世帯人員から上図を用いて原単位を推計するとともに、戸建て住宅と集合住宅の床面積の相違についても留意する。具体的には、表5.2-3をふまえ、仙台市については区毎に、その他の地域については宮城圏平均値を用いて、戸建て住宅と集合住宅の一人あたり延べ床面積が同等になるよう、原単位の補正をしている。

表5.2-3 住宅の建て方別の床面積・世帯人員数の相違

		総数	一戸建	共同住宅
宮城県	一人あたり延べ床面積 (㎡)	34.8	38.9	23.0
	1世帯当たり人員	2.8	3.4	1.9
	1世帯当たり延べ床面積 (㎡)	98.6	132.5	43.0
仙台市	一人あたり延べ床面積 (㎡)	32.1	38.8	23.4
	1世帯当たり人員	2.4	3.1	1.8
	1世帯当たり延べ床面積 (㎡)	76.3	120.6	42.5
青葉区	一人あたり延べ床面積 (㎡)	33.3	41.0	25.2
	1世帯当たり人員	2.1	2.9	1.6
	1世帯当たり延べ床面積 (㎡)	70.0	120.4	40.5
宮城野区	一人あたり延べ床面積 (㎡)	29.3	37.9	22.3
	1世帯当たり人員	2.4	3.1	2.0
	1世帯当たり延べ床面積 (㎡)	69.4	119.1	43.9
若林区	一人あたり延べ床面積 (㎡)	30.4	37.0	22.7
	1世帯当たり人員	2.4	3.2	1.9
	1世帯当たり延べ床面積 (㎡)	72.6	116.6	42.2
太白区	一人あたり延べ床面積 (㎡)	31.7	37.9	23.0
	1世帯当たり人員	2.5	3.1	2.0
	1世帯当たり延べ床面積 (㎡)	79.9	118.3	45.3
泉区	一人あたり延べ床面積 (㎡)	34.0	38.6	22.0
	1世帯当たり人員	2.7	3.3	1.9
	1世帯当たり延べ床面積 (㎡)	92.6	125.6	42.3

出典：平成12年国勢調査報告第2巻

本調査における「集合住宅」に相当。出典では「共同住宅」と表記されている。

(2)地域冷暖房システムの導入

エネルギーの効率的利用のための地域的施策として、地域冷暖房システムの導入について、専用熱源を用いる場合、及び焼却余熱を用いる場合等を対象に考える。

概要

地域冷暖房は、大規模な熱発生施設（プラント）で集中的に作られた冷水、温水、蒸気などを配管を通じて一定の地域内の建物に供給し、冷暖房や給湯などを行うシステムである。プラント熱源を重油等の既存エネルギー源に求めるものや、廃棄物の焼却余熱に求めるものなどさまざまであり、前者は需要に対応した導入の際に、後者は熱源に対応した導入の際に用いられることが多い。

効果の設定

上述したように、地域冷暖房の熱源やシステム構成にはさまざまなバリエーションがあり、その効果もさまざまであり、具体的な省エネ率やCO₂排出削減率についてもさまざまな数値が示されている。その中で、環境庁『地球温暖化防止対策ハンドブック（3 民生編）』によれば、数多くの事例がある東京都の地域冷暖房での試算として、16地域でCO₂削減量（冷暖房需要）は51,196 t（冷暖房需要の削減率26.9%）という結果が出されている。こうした数値を踏まえ、本検討では、冷暖房需要の概ね25%という削減率を設定した。

なお、清掃工場における廃熱を熱源とする場合は、新たな熱発生が不要であるため、削減率は理論的には100%となる。実際の設定に当たっては仙台市における検討事例を踏まえることとする。

(3)住宅の省エネルギー化

居住環境に係る単体施策として、住宅自体の省エネルギー化について、普及の容易さを考慮し、最もシンプルなシステムである断熱化を例として検討する。

概要

家庭におけるエネルギー需要の多くは住宅の空調需要あるいは給湯需要である。そこで、住宅の気密性や断熱性を高め、冷暖房に係る熱需要を減少させるとともに、確立された技術であるソーラーシステムを通じ給湯を行うことによって、これらの空調・給湯需要の軽減を図るシステムが実用化されている。

住宅の省エネ化については、さまざまなシステムが提案されており、その効果（省エネルギー率）についてもさまざまな数値が出されている。その中で、ここでは導入の容易さ等を考慮し、単純なシステムである複層ガラスによる断熱化を取り上げた。

効果の設定

複層ガラスによる断熱化の効果について、大阪ガスで仙台市をケースとしたシミュレーションが実施されている。その結果の概要をとりまとめた図表を以下に示す。

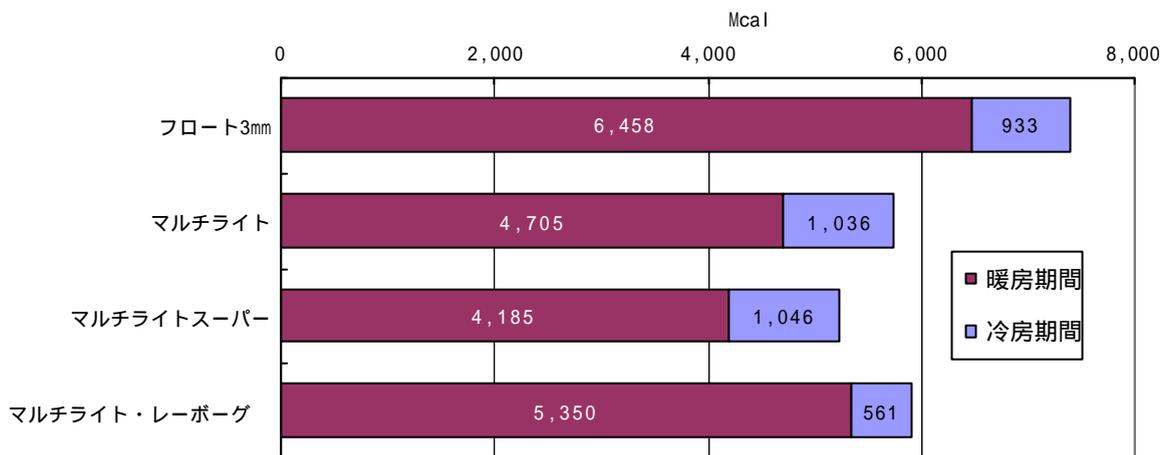


図5.2-5 住宅断熱化による省エネ効果の試算例

表5.2-4 住宅断熱化による省エネ効果の試算例

一般名	商品名	暖房期間	冷房期間	合計	単位
3ミリ透明フロート	フロート 3 mm	6,458	933	7,391	Mcal
		61,674	8,798	70,472	円
一般複層ガラス	マルチライト	4,705	1,036	5,741	Mcal
		44,933	9,769	54,702	円
高断熱複層ガラス	マルチライトスーパー	4,185	1,046	5,231	Mcal
		39,968	9,863	49,831	円
高遮熱断熱複層ガラス	マルチライト・レーボーク	5,350	561	5,911	Mcal
		51,093	5,288	56,381	円

上掲中、最上段の結果は通常ガラスの場合であり、下三段が各種の複層ガラスを用いた場合である。

この中で、省エネルギー率の高い「高断熱複層ガラス」を例にとると、現状の冷暖房需要 7,391Mcal に対し導入時には 5,231Mcal と、およそ 30 % の削減率であることが示されている。これをふまえ、本検討においても「冷暖房需要 30 % の削減」を設定することとする。

なお、同表中の一般複層ガラスや高断熱複層ガラスの試算結果によれば、暖房に係るエネルギーが削減されている反面、冷房に係るエネルギーが増大している。これは、これらのガラスは太陽エネルギー（熱線）の透過能力は同等で、熱伝導による室外への放熱の遮断性が高いことから生ずるものである。その意味で冷房期間中は省エネ効果はマイナスに働くが、年間を通じてみれば省エネ効果が確保されていることから省エネ策として成立しているものである。

(4)業務ビルにおけるコージェネ導入

業務施設におけるエネルギーの高効率利用の単体施策として、コスト面でも内発的な普及が期待されるコージェネレーションの導入を検討する。

概要

業務施設について、ガスエンジン、ガスタービンなどの原動機を用いて発電し、同時に発生する熱も利用するシステムであるコージェネレーションシステムを導入し、総合的なエネルギーの高効率利用を図る。

効果の設定

現状について、コスト面から考えると理論的には一定規模以上のビルへの導入が可能であるが、実際には熱需要の大きいホテル・病院・デパート等における導入が最も可能性が高いことから、これらへの導入システムが想定される。一般的なホテル業務・商業複合施設では、ガスエンジンを利用したコージェネレーションの導入事例が多い。なお、これらの施設では適切な導入により3～5年で投資を回収することも可能であるといわれている。

効果については、実際のバランス等により、省エネルギー率にして10%～40%程度の数値が試算されているが、これら幅を持った数値の中間を念頭に、25%の省エネルギー率が用いられている例もある。

このようなコージェネレーションによる冷暖房等のエネルギー消費が削減される効果については、適用するコージェネレーションの規模やシステム体系、需要規模や熱電需要によって大きく異なっている。今回の検討の念頭においているガスコージェネ、重油のコージェネについても、(財)省エネルギーセンターで「15～40%のCO₂削減効果」という表現がなされていたり、下表のようなメーカーの試算例など、さまざまな数値が提示されている。

表5.2-5 メーカーによるコージェネレーションの効果の試算例

熱量	ディーゼルエンジン コージェネシステム	ガスタービンコージェネシステム	
	A重油	灯油	都市ガス(13A)
発電1kWh当たりのCO ₂ 排出量	630g-CO ₂ /kWh	1,011g-CO ₂ /kWh	811g-CO ₂ /kWh
発電1kWh当たりの平均排熱回収量	518.9kcal/kWh	1,678kcal/kWh	1,641kcal/kWh
ボイラにて上記熱量を発生した時のCO ₂ 排出量	180g-CO ₂ /kWh	565g-CO ₂ /kWh	431g-CO ₂ /kWh
買電1kWh当たりのCO ₂ 排出量	670g-CO ₂ /kWh		
導入無しの場合のCO ₂ 排出量(+)	850g-CO ₂ /kWh	1,235g-CO ₂ /kWh	1,101g-CO ₂ /kWh
導入した場合のCO ₂ 排出量	630g-CO ₂ /kWh	1,011g-CO ₂ /kWh	811g-CO ₂ /kWh
CO ₂ 排出量削減率((+) -) ÷ (+)	25.9%	18.1%	26.3%

以上もふまえ、試算に際しては、前掲の省エネルギーセンターの説明数値の中間程度の数値として、概ねの数値として冷暖房・給湯需要の25%という数値を設定することとする。

(5)業務ビルにおける屋上緑化

多岐にわたる都市環境の改善効果が期待される屋上緑化について、熱貫流負荷の削減効果を念頭に効果の検討を行う。

概要

屋上・壁面緑化による環境負荷の削減効果としては、太陽からの輻射熱が建築物躯体に吸収され熱となって室内に放出されるいわゆる熱貫流負荷の削減に伴う省エネルギー効果がまず挙げられる。また、光合成に伴うCO₂の固定（吸収）の効果のほか、蒸発散の促進によるヒートアイランドの緩和の効果も挙げられる。

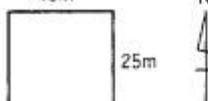
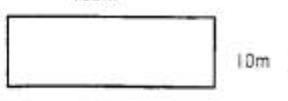
ただし、後二者について、CO₂吸収は屋上緑化の植生の状況を鑑みると効果が極めて小さいと見られること、またヒートアイランド緩和については定量的な検討が困難であることや対象地域である仙台市においてはヒートアイランド現象が必ずしも顕著ではないこともふまえ、ここでは熱貫流負荷の削減に伴う省エネルギー効果を対象とする。また、壁面については具体的なデータが不足していることから屋上緑化のみを考える。

効果の設定

屋上・壁面緑化による熱貫流負荷の削減に伴う省エネルギー効果については、いくつかのケーススタディが行われているが、ここでは建設省都市環境問題研究会編（1993）における紹介事例を整理する。

事例は建築物屋上に200mmの屋上芝生（全面）による緑化を施した場合の試算例であり、最上階の負荷削減率として16%（事務所）及び31%（集合住宅）という試算事例が示されている。

表5.2-6 屋上緑化による効果算定の例

モデル建物	事務所	集合住宅
平面形状	40m 25m 	100m 10m 
延面積	9,000㎡	5,000㎡
建築面積	1,000㎡×9F	1,000㎡×5F
軒高	33.5m	15m
緑化方式	屋上芝生	同左
予測対象日	8月27日	同左
照明負荷	大 (20W/㎡)	小 (4W/㎡, 400W/戸)
人体負荷	大 (90人/千㎡)	小 (40人/千㎡, 4人/戸)
最上階の負荷	87.2Mcal/1,000㎡h 72.8Mcal/1,000㎡h	39.5Mcal/1,000㎡h 27.1Mcal/1,000㎡h
削減率	16%	31%

出典：環境共生都市づくり（建設省都市環境問題研究会編（1993））

そして、前掲の事例以外にも、その数値については10%～40%程度までの数値がさまざま挙げられているが、ここではこうした数値もふまえ、「最上階における冷房負荷が20%削減」という設定を置くこととする。

(6)新エネルギーの導入

具体的な目標を掲げての取り組みが全国的に展開されている新エネルギーの導入について、太陽光発電、及び清掃工場の廃熱発電を対象として検討する。

概要

いわゆる新エネルギーとしては、太陽エネルギーや風力エネルギーなどの再生可能エネルギーや、廃棄物の焼却余熱や河川水熱などのリサイクルエネルギー、そしてコージェネやクリーンエネルギー自動車などのエネルギーの新利用形態の3つに区分される。

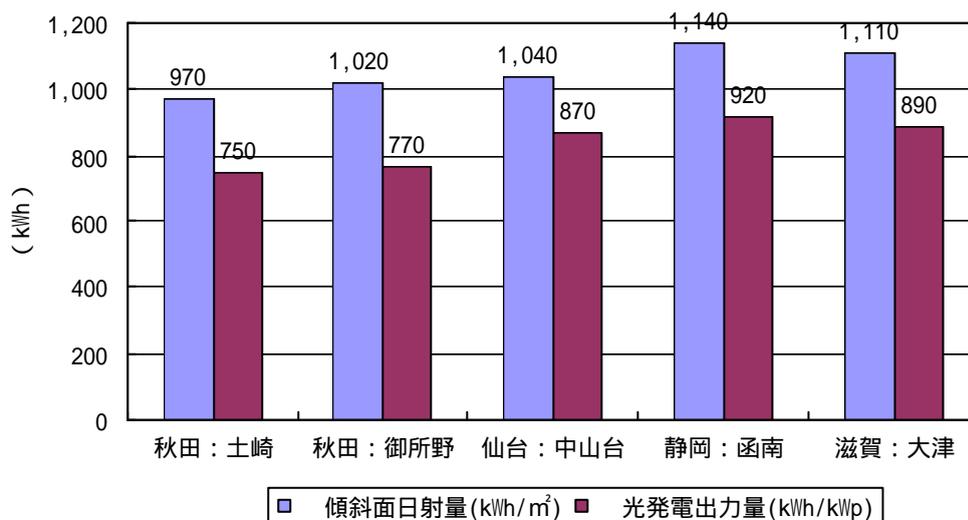
これらについて、より狭い意味では再生可能エネルギーとリサイクルエネルギーを指すことから、本検討では前者の例として建築物（家庭 - 戸建て住宅，業務建築物）への太陽光発電の適用、及び後者の例として清掃工場における廃熱利用を検討対象とする。

なお、の業務ビルのエネルギー利用効率化としてのコージェネレーション導入も広義には新エネルギーの導入に相当する。

効果

a)太陽光発電

太陽光発電の効果（発電量）は地域や設置条件によって大きく異なるが、ここでは導入を想定している家庭用システムの実測値として、仙台市中山台における数値を参考とする。



	秋田：土崎	秋田：御所野	仙台：中山台	静岡：函南	滋賀：大津
傾斜面日射量(kWh/m ²)	970	1,020	1,040	1,140	1,110
光発電出力量(kWh/kWp)	750	770	870	920	890
÷	0.77	0.75	0.84	0.81	0.80

図5.2-6 住宅における実測値（例）

これはシステム容量当たりの実出力の実績値であり、データから仙台市では1kWシステムを導入した場合、年間で870kWhの発電量が得られることを示している（これはCO₂排出量にして0.14t-Cに相当する）。

なお、家庭用の標準的なシステムである3kWシステムでは、上記の数値（1kWシステム当たり年間870kWhの発電量）をふまえ、870kWh×3=2,610kWh/年の発電量が見込まれることになる。家庭における平均的な電力需要は年間2,500～3,000kWh程度であることから、3kWシステムの導入によってほぼ100%の削減率が期待できることになる（ただし、太陽光発電パネルは夜間は発電できないほか、曇天・雨天化では効率が著しく低下するため、系統連系システムによる負荷調整が前提となる）。

系統連系システム：電力会社からの電力線と連結し、発電量が消費量より大きい時間帯では電力会社に売電し、逆の時間帯（夜間や雨天・曇天時）には電力会社から買電するシステム。

b) 清掃工場における廃熱利用発電

清掃工場における廃熱利用発電の効果はそのシステムによって大きく異なるが、ここでは現在事例の多い『標準型復水タービンシステム』の採用を想定する（実際の設定にあたっては、廃熱利用地域冷暖房と同様、仙台市における検討事例を踏まえることとする）。

なお、廃熱利用発電は、従来は利用していなかったエネルギーを利用して発電することから、削減効果は供給量の減少という概念で評価されることになる（地域のエネルギー需要をEd、これまでの地域へのエネルギー供給量をEs、廃熱利用の発電量をPとすると、導入後の地域へのエネルギー供給量Es'は、 $Es' = Ed - P$ （従来の $Es = Ed$ ）として表現される）。

5.2.3 各施策に係る設定（導入量の設定）

(1) 戸建て住宅から集合住宅への転換

戸建て住宅から集合住宅への転換の設定としては、前述した世帯動向をベースとして、転換ケースは「増加した人口は全て集合住宅に居住」と考える。

戸建て住宅から集合住宅への転換の設定については、前述した世帯動向をベースに考えることとするが、このケースにおいても既に近年の集合住宅への転換の趨勢をふまえ、集合住宅が増加する設定となっている。

その上で、「戸建て住宅から集合住宅への転換」という設定として、各地域（計算対象範囲）における人口増加分が全て集合住宅に居住（現在は一定のシェアで配分）すると仮定し、配置変えを行うこととする。

具体的には、与えられた人口の伸び率（9.6%）が将来の世帯数にも当てはまるとして設定するとともに、戸建て・集合の別については、前掲した90年から95年までの趨勢をふまえ、両者のシェアが変化すると仮定して設定（趨勢パターン）した。

表5.2-7 将来の戸建て住宅と集合住宅の居住世帯数（配置結果）

	現在世帯 (万)	現在シェア	趨勢シェア	世帯数 (万)	世帯数 (万)
総数	60.9	100.0%	100.0%	66.5	66.5
戸建て	32.8	53.8%	44.7%	29.7	27.2
集合	28.1	46.2%	55.3%	36.8	39.3

- 1：「趨勢シェア」は現状のまま推移した場合の将来の世帯割合（上掲）。世帯数 はこの場合の世帯数で、計算式としては「将来世帯総数」×「趨勢シェア」。
- 2：「世帯数」は都心居住を進めた場合の世帯数。現在からの増加世帯分が全て集合住宅に居住すると仮定し、積み上げた。上表中では、現在の世帯総数が将来シェアで再配分された後、総数の増分（5.6万世帯）が全て集合住宅に追加されたという計算と同様の結果となる。
「集合住宅（世帯数）」＝「現在世帯総数」×「趨勢集合シェア」＋「総数の増分（5.6万）」
- 3：将来の世帯総数については、与えられた人口に比例すると仮定（165万÷151万＝9.6%増）
- 4：また、戸建て・集合の別については、下記参考表に示す過去のシェアの変化（1990年から1995年まで）の趨勢でシェアが変化すると仮定し、算出された戸建て数値（44.7%）を用いた。

参考表 趨勢での世帯数シェア

	戸建て	集合
1990	55.6%	44.4%
1995	53.9%	46.1%
2000	52.3%	47.7%
2005	50.7%	49.3%
2010	49.1%	50.9%
2015	47.6%	52.4%
2020	46.1%	53.9%
2025	44.7%	55.3%

(2)地域冷暖房システムの導入

地域冷暖房システムの導入設定としては、効果が発現する開発密度が容積率換算で 300 ~ 400 % であることから、これをふまえた設定を行った。

地域冷暖房システムの導入対象については、電力中央研究所の検討結果による効果発現密度を容積率換算すると概ね 300 ~ 400 % 程度になることから、この数値 (400 % 以上) とした。

ただし、実際の容積率は個々の地区の中でも異なることや、さらに接道条件等、各種の条件によって大きく異なることから、対象ポリゴンにおける法定の容積率を用いている。

また、清掃工場における廃熱を熱源とする、地域冷暖房システムについては、仙台市における検討事例に拠ることとする。

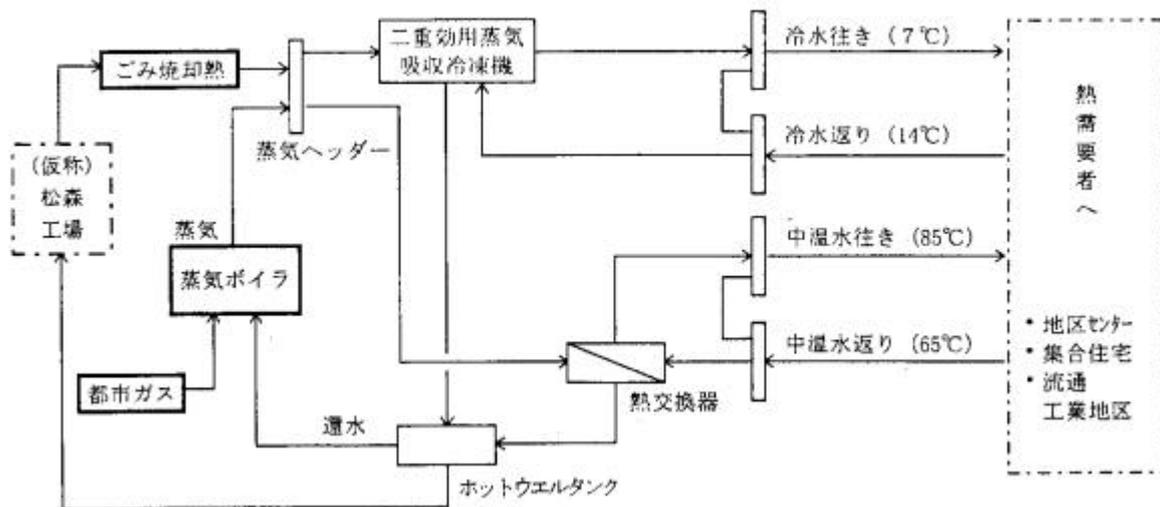


図5.2-7 地域冷暖房システムの設定状況 (仙台市資料)

(3)住宅の省エネルギー化

住宅の省エネルギー化については、ここで想定している複層ガラスの導入が、採用される比率を設定した。

住宅の省エネルギー化については、前述したように複層ガラスの導入を具体的な技術項目として想定した。

この導入シナリオについては、必ずしも大きな投資を伴うものではなく、かつ費用対効果（熱需要の節約）もあることから、導入は高い率で進むことを想定し、新築（更新率は過去の趨勢から2.8%/年）で50%、既築で10%とした。

(4)業務ビルにおけるコージェネ導入

業務ビルにおけるコージェネ導入の量的設定としては、熱需要の大きいホテル・病院・デパートへの導入を想定する。

業務ビルへのコージェネレーションの導入について、コスト面から考えると理論的には一定規模以上のビルへの導入が可能であるが、実際には熱需要の大きいホテル・病院・デパート等における導入が最も可能性が高い。

そこで、試算の際には、これらへの導入を想定した。仙台市へのヒアリングによれば、2010年までの10年間に新築病院の20%、既築病院の10%、意欲的にはストック全量について20%を目途に導入を進めたいとされている。この数値を2025年（25年間）に単純に延長すると、ストック全量の50%への導入となる。

こうした背景を鑑み、ここでの設定については単純に「施設ストックの50%に導入」と設定を行う。

(5)業務ビルにおける屋上緑化

屋上緑化の導入量の設定に際しては、規制的誘導の状況も鑑み、屋上の一定面積の緑化を想定する。

屋上緑化の導入量の設定に際しては、東京都で実施されている規制的誘導、すなわち、敷地面積が250平方メートル以上の公共施設と1,000平方メートル以上の民間施設を対象に「緑化計画書」の届け出とともに利用可能な屋上スペースの20%に樹木や芝、草花などを植えることの義務づけを参考にした。

具体的には、こうした規制が発展的に適用され、全ての業務用建物が対象にされたと考え、全ての業務用建物（屋上面積）の20%が緑化されると想定した（効果の計算上は、全ての屋上の面積の20% 20%の屋上の全面、と仮定）。

なお、業務用建物に限定したのは集合住宅の場合、所有・管理の権利関係上、特に既設の集合住宅では誘導が困難である（東京都ヒアリング）ことを考慮したものである。

(6)新エネルギーの導入

新エネルギーの導入について、太陽光発電は主として国の導入目標をふまえ、また清掃工場余熱利用については仙台市の現状施設等をベースに設定する。

新エネルギーの導入については、施策の概要でも整理したように太陽光発電パネルの導入と、清掃工場での余熱利用を対象に置くこととしている。

このうち、太陽光発電について、太陽光発電パネルの設置先としては、住宅（戸建て・集合）や業務施設、あるいはグラウンド・農地・空き地等が挙げられるが、ここでは最も一般的な住宅（戸建て）および業務ビルを想定する（集合住宅の場合、個人の意思による設置は困難であることから戸建て住宅を対象とする）

導入量の目安として、わが国における導入目標を考える。具体的には石油代替エネルギー目標における当面の目標（2010年）を参考に、国の目標に対し、地域の人口比率を以って応分の導入を行う考えで設定を行う（全てが家庭ではないが、量的に大部分を占めると想定される）。

[設定の考え方]

国の目標数値（2010年）を仙台圏域の世帯数シェア（対全国）で按分し、仙台圏域の目標数値（2010年）を算出

$$\begin{aligned} & 2010年全国目標値（システム容量） \times （仙台圏域世帯数 \div 全国世帯数） \\ & 5,000,000\text{kW} \quad \quad \quad \times （609 \text{千世帯} \div 48,015 \text{千世帯}） \\ & \quad \quad \quad = 5,000,000\text{kW} \quad \quad \quad \times 1.3 \% \\ & \quad \quad \quad = 63,418\text{kW}（仙台圏域の2010年の目標の目安） \end{aligned}$$

この数値は2010年を目途としているため、2025年頃にはその2.5倍程度であると設定

$$\begin{aligned} & \text{仙台圏域目標値（2010年の目安）} \quad \times 2.5 \text{倍} \\ & \quad \quad \quad = 63,418\text{kW} \quad \quad \quad \times 2.5 \\ & \quad \quad \quad = 158,544\text{kW}（2025年の目標容量） \end{aligned}$$

現在主流である家庭用システム容量は3kWであることから、上記容量を台数換算

$$\begin{aligned} & \text{将来目標容量} \quad \quad \quad \div 3（\text{kW} / \text{台}） \\ & \quad \quad \quad = 158,544\text{kW} \quad \quad \quad \div 3 \\ & \quad \quad \quad = 52,848（台） \end{aligned}$$

表5.2-8 戸建て住宅における導入量の設定

全国の世帯数	48,015	千世帯
圏域の世帯数	609	千世帯
割合	1.3%	
国の目標数値(2010)	5,000,000	kW
仙台圏域への按分値	63,418	kW
2010 2025で2.5倍	158,544	kW
3kWシステム	52,848	台(棟)

- 1：集合住宅の場合、個人の意思による設置は困難であることから戸建て住宅を対象とする。
- 2：わが国における導入目標の一つとして、石油代替エネルギー目標における当面の目標（2010年）が挙げられる。
- 3：これについて、国の目標に対し、地域の人口比率を以って応分の導入を行う考えで設定を行う（全てが家庭ではないが、量的に大部分を占めると想定される）。

また、業務ビルの場合、所有関係（賃貸関係）が複雑である場合は必ずしも普及のメリットはないこと、及びコージェネとの競合も考えられるので、公的施設を念頭に置く。

具体的には、現在施策として進めている「学校（小・中・高・大）への導入」を念頭に置くこととし、以降に示す考え方で設定する。

[設定の考え方]

仙台圏域の学校数を積み上げ

$$\begin{aligned}
 \text{学校数} &= \text{小中学校} && + \text{高等学校} && + \text{短大・大学} \\
 &= 57 && + 47 && + 158 \\
 &= 322 \text{ 校 (現状)}
 \end{aligned}$$

学校における標準的なシステム容量は30kWであることから、上記校数に掛け算（将来の学校数は現状と同じであると仮定）

$$\begin{aligned}
 \text{学校数} &\quad \times \text{システム容量} \\
 = 322 \text{ 校} &\quad \times 30\text{kW} \\
 = 9,660\text{kW}
 \end{aligned}$$

表5.2-9 業務施設（学校を想定）における導入量の設定

仙台圏域の小中学校	257	校
高等学校	47	校
短大・大学	18	校
計	322	校
30kWを想定	9,660	kW

- 1：業務ビルの場合、所有関係（賃貸関係）が複雑である場合は必ずしも普及のメリットはないこと、及びコージェネとの競合も考えられるので、公的施設を念頭に置く。
- 2：具体的には、現在施策として進めている「学校（小・中・高・大）への導入」を念頭に置く

一方、清掃工場での余熱利用については、現在、仙台市において将来の発電を想定しているものの、前提となるごみ焼却施設計画の計画が未定であることから、発電を前提に、現状レベルでの条件で想定する。

ごみ発電は系統的にさまざまなバリエーションがあるが、基本的には現在事例の多い「標準型復水タービンシステム」を採用し、設定を行った（下表）。

表5.2-10 ごみ発電の導入量の設定

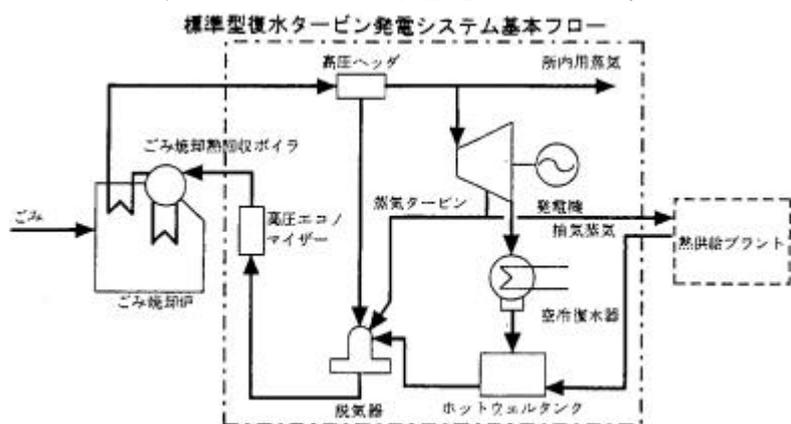
燃焼量	600t/日
ごみ発熱量	2,200kcal/kg
発電出力	9,400kW

数値等は仙台市からのヒアリングによる

（参考：発電出力の設定は下記発熱量から規模を設定）

$$\begin{aligned}
 \text{焼却炉の発熱量} &= \text{ごみ燃焼量} \times \text{ごみ発熱量} \times \text{単位調整} \\
 &= 600\text{t/day} \times 2,200\text{kcal/kg} \times 1,000 (1,000\text{kg/t}) \times (1/24\text{h}) \\
 &= 55\text{Gcal/h} \\
 &= 64,000\text{kWh/h}
 \end{aligned}$$

なお、ごみ発電の発電効率は10～20%程度であり、その意味で上記熱量は、
 $64,000\text{kWh} \times 10 \sim 20\% = 6,400\text{kWh} \sim 12,800\text{kWh}$
 の規模のシステムが考えられる。その中で、現在の仙台市の想定では
 9,400kW システムが想定されている。



： 廃棄物発電設備

- ・ごみ焼却量 600t/日 (200t/日 × 3炉)
- ・ごみ発熱量 基準ごみ 2,200kcal/kgで発電設備を計画
- ・ごみ焼却熱回収条件 温度290 圧力25ata
- ・蒸気タービン発電機出力 3炉運転時 9,400kW
 (抽気なし時) 2炉運転時 6,100kW
 1炉運転時 2,800kW

図5.2-8 廃棄物発電システムの設定状況（仙台市資料）

5.3 シミュレーション結果

ここまでに整理したフレームを踏まえ試算を行なった結果、各施策ともエネルギー消費・CO₂削減に対し一定の効果をもつこと、またその効果は数%のオーダーであることが示された。

表5.3-1 試算結果

CO ₂	民生家庭	対 将来	民生業務	対 将来	民生合計	対 将来
仙台都市圏集計値	千t-CO ₂ /年	%	千t-CO ₂ /年	%	千t-CO ₂ /年	%
現在	2,316	-	1,996	-	4,312	-
将来 (趨勢型)	2,478	100.0%	2,136	100.0%	4,614	100.0%
集合住宅居住推進	2,340	94.4%	2,136	100.0%	4,476	97.0%
地域冷暖房システム 1	2,478	100.0%	2,101	98.4%	4,580	99.2%
地域冷暖房システム 2	2,455	99.1%	2,118	99.1%	4,573	99.1%
住宅の省エネルギー化	2,197	88.7%	2,136	100.0%	4,333	93.9%
業務ビルへのコージェネ導入	2,478	100.0%	2,107	98.7%	4,586	99.4%
業務ビルにおける屋上緑化	2,478	100.0%	2,128	99.6%	4,607	99.8%
新エネルギーの導入 3	2,373	95.8%	2,136	100.0%	4,509	97.7%
新エネルギーの導入 4	2,478	100.0%	2,130	99.7%	4,608	99.9%
新エネルギーの導入 5	2,447	98.8%	2,113	98.9%	4,560	98.8%

(注) 将来の都市構造は、集合住宅居住推進は都心居住型、他は趨勢型

- 1：都心地域での導入（容積率400%を目安）
- 2：清掃工場廃熱利用
- 3：家庭への太陽光発電（家庭用3kWシステム）
- 4：学校への太陽光発電の導入（30kWシステム）
- 5：ごみ発電の導入（9,400kWシステム）

以降、上表について結果の概要を整理する。まず、現在の趨勢の下での将来を推計すると（上表中の「将来（趨勢ケース）」）、民生家庭・民生業務合計値で4,614千t-CO₂と、現在（4,312千t-CO₂）に比べ7%程度の上昇となっている。人口の増加率と必ずしも一致しないのは、住居の形態（戸建て・集合）が現在と若干異なり、集合住宅の比率が増すことによる。

その中で具体的な施策の効果を見ると、まず集合住宅への転換促進や住宅の省エネルギー化等、住宅に係る施策についてはそもそものストック量が大きいこと、及びフレームの設定に際してもモデル地区ではなく圏域全体での導入を想定したことから、その効果も総体として大きなものになっている。

また、業務ビルに係る施策の中で、コージェネレーションについては、ホテル・病院・デパートといった限られた施設での導入を想定しているが、個々の効果が大きいことから、施策全体の効果は比較的大きなものとなっている。

一方、屋上緑化については、圏域全体に係る施策ではあるが、効果が「最上階」のみに留まっていることもあり、施策規模に比較すると効果は小さい。ただし、屋上緑化の効果はヒートアイランドの緩和等、他にも存在することから、施策の評価に際しては、こうした点に留意する必要がある。

その他、新エネルギーの導入については、シナリオ設定として国の目標等をふまえたものを採用していることもあり、住宅への導入の場合等、比較的大きな効果が得られている。ただし、これらはコスト面で必ずしも内発的な導入が期待できないことから、実現に際しては支援的誘導も含めたソフト施策が必要であると考えられる。なお、大きな意味での地域冷暖房については、その効果は認められるものの、施策の適用規模からみると相対的に効果は小さい。