コージェネレーションシステム導入による高齢者対応自立生活支援型住宅開発
—北国の合理的エネルギー利用と居住様式研究—

主査　野口　孝博＊1
委員　伊藤　雄三＊2　森下　満＊3　橋本　伸也＊4　福島　明＊5　野坂　卓見＊6　柳田　良造＊7

本研究は新しい北国型の生活スタイルの実現を目指す住宅とエネルギーの総合型研究であり，高齢者・障害者にとっても自由に外出・訪問等ができ，夏冬通して活動的で生きがいのある新しい生活スタイルの創出を目指すものである。研究成果としてマイクロコージェネレーションシステムによる熱のカスケード利用を可能とする設計の低床型ユニバーサルデザイン住宅の提案は北国住宅の空間原理及び高齢者・障害者にとっても活動的な生活に適したライフスタイル創出に極めて有効なことが明かにされた。とくに住宅に併設された作物工場は，コージェネレーションの住宅への適用の考えから生み出された新しい住スタイル提案の一つである。

キーワード：1)コージェネレーション，2)エネルギー，3)ライフスタイル，4)高齢者，5)自立生活，6)中間領域，7)ユニバーサルデザイン，8)低床型住宅，9)エネルギーカスケード利用

PLANNING OF THE UNIVERSAL DESIGN HOUSE FOR INDEPENDENCE OF AGED PEOPLE USING CO-GENERATION SYSTEM
— A Study of Energy and Living Style in Snow Country —

Ch. Takahiro Noguti
Mem. Yuzou Itou, Mituru Morisita, Nobuya Hashimoto, Akira Fukushima, Takumi Nosaka and Ryozo Yanagida

The aim of our study is investigation of new living style and housing design where aged and disables can move freely in snow season without barrier. On this paper, We made clear as follows. Planning of the universal design house using micro co-generation system is effective in energy cut and making new living style in snow country. Especially intermediate space (greenhouse, workshop, garage, entrance space) that is warmed low temperature by using cascade heat system from co-generation's surplus heat is effective in connecting between outside and living space, and makes livable in snow season indoor life.

1．はじめに
1.1　研究の目的

本研究は，マイクロコージェネレーションシステムの熱電併給型エネルギーの地域特性利用により，北海道の現状の住宅が抱えている雪処理等の問題を大幅に軽減しかつ特有の屋内型生活様式にとって魅力の大きい雁木，玄関土間，サンルーム，地下室等の中間的性格の生活空間「中間領域」を適切に導入することで，北国における高齢者・障害者の魅力的で自由度の高い新しいライフスタイルの創出を目指すと同時にその生活を支える北方型ユニバーサルデザイン住宅の理論的開発と具体的な住宅イメージの提案を目的とするものである。

多雪，寒冷の条件を有する北海道では，高齢者・障害者は冬の間外出等の移動が大きく制約される。冬期間の外出頻度は確実に夏場の1/3以下になる。中には自宅での自立生活（買い物などの外出）ができないために，冬の間数カ月病院に入る季節入院の例すらある。その主な原因のひとつが住宅形式にある。一般に北海道の戸建て住宅は積雪のために床が高く，玄関周りには段差が生じる。また玄関から道路までのアプローチが長いのも北海道の特徴である。降雪時にはこうした屋外階段やアプローチ部分が積雪や路面凍結のために，高齢者や障害者は特に介助なしでは移動がほとんど困難な状態になる。このように冬の間家の中に閉じ込められるような生活を開放する必要がある。できるだけ外出しやすい環境を用意し，近隣との交流などを図れるようにすること，そうして冬期間も活動的で魅力ある生活が営めるようにすることは北国において大事なことである。

そのために本研究では，戸建て住宅にマイクロコージェネレーションシステムを導入することで，そこから得られる余剰熱を適切に利用し住宅の雪処理を側面から支援する。かつアプローチ空間の屋内化とその暖房化(熱のカスケード利用による低温暖房)を進めることにより高齢者・障害者の外出行動の支援，促進を図ると同時

＊1 北海道大学大学院工学研究科　助教授　＊2 北海道大学大学院工学研究科 助手　＊3 北海道大学大学院工学研究科　助手
＊4 札幌医科大学 助教授　＊5 北海道庁建設部　主幹(前北海道立北方建築総合研究所)　＊6 株式会社新エネルギー開発　代表取締役
＊7 プラハアソシエイツ株式会社　代表取締役

に新しい交流型ライフスタイルの創出を目指す。このようにライフスタイルと連動したエネルギーの自己管理により，循環型社会に対する市民意識の高揚が十分に図れる意味は大きい。

1.2　研究の方法

そのためにまず，①現状の高齢者・障害者の外出等冬場の移動行動を阻害する主要因となっている住宅形式，アプローチ形態，雪処理システムと歩行状態，健康状態等との関連性を検討し，移動阻害要因と課題を整理する。②北国の屋内型生活様式を魅力化すると同時に高齢者・障害者の外出を促進するための新しいライフスタイルと住空間の形態について計画条件を整理するとともにそのあり方を検討する。③新しいライフスタイルを前提にした北国型ユニバーサルデザイン住宅（高齢者対応自立生活支援型住宅）の基本理念を検討する。④ユニバーサルデザイン住宅におけるライフスタイル実現のために熱電バランスに特徴のある地域対応型マイクロコージェネレーションシステムの設計条件を検討するとともに，プロトタイプのためのモデル設計を行う。⑤これらを総合して北国型ユニバーサルデザイン住宅の理想型理論とそのイメージを提案する。

1.3　研究の体制

本研究は，建築計画，福祉工学，理学療法学，エネルギー工学，環境工学及びシステム開発，住宅設計・デザインの各分野からの参加を得て，北国型ユニバーサルデザイン住宅の研究・開発のために実施された。

2. 北海道における高齢者・障害者の住宅と外出

2.1　はじめに

本章では，北海道の冬期における高齢者・障害者の外出の実態とそれに伴う居住空間 上の問題点，課題の把握をおこなう。調査は，札幌市郊外の戸建住宅における健常高 齢者（何も支えなしで歩ける人<独歩>），障害高齢者・若齢者（独歩か杖ないしは 車椅子を利用して一人で行動することが出来る人）を対象に，外出行動等に関するア ンケートをおこなった。注1)

2.2　高齢者・障害者の冬の外出実態

図２－１は，典型的な外出行動である「買い物」，「病院」，「老人センター，デイケ アセンター」の３つについて，冬の頻度を示したものである。特に日常生活の代表的 な外出行為である買い物の場合，週一回以上の頻度の割合は，健常高齢者では75％に のぼり，よく外出している。これに比べて障害高齢者・若齢者はそれぞれ23％，41％ であり，外出が制約されているといえる。また，健常高齢者でも夏の場合には買い物 でほぼ毎日外出するという割合は半数をこえるが，それに比べると冬は30％と外出が 抑えられている。

2.3　冬の外出阻害要因としての住宅形態と雪処理

高齢者・障害者の冬の外出を制約する要因として，第一に住宅の玄関まわりの形態が あげられる。「アプローチ路面が凍りすべる」，「階段等大きな段差がある」，「玄関前が坂道になっており転びそう」，「玄関が狭く身支度が大変」など，アプロー チ，外階段，ポーチ，玄関内部までの一連のアクセス空間に問題がある（図２－２）。

また，住宅内外の移動時に最も障害に感じる段差場所は玄関出入り口の段差（外階 段）であった。なお，住宅１階床高は健常高齢者の住宅で平均88㎝，障害高齢者・若齢者で平均64㎝・60㎝であり，１ｍをこえるものも14～27％あった。第二に，アプロ ーチの雪処理があげられる。凍結したアプローチの路面や階段は健康な人にとっても 安心して歩くのは容易ではないが，高齢者・障害者にとっては「移動に不安・恐怖感 がある」，「移動時に身

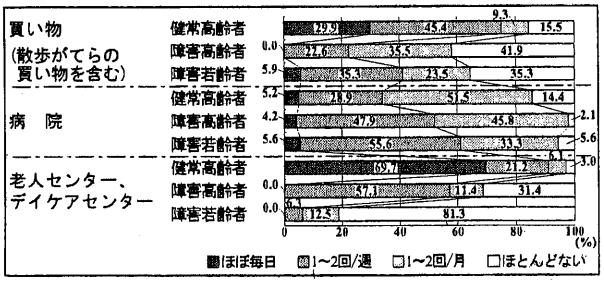

図 2-1　高齢者，障害者の冬の外出行動と頻度

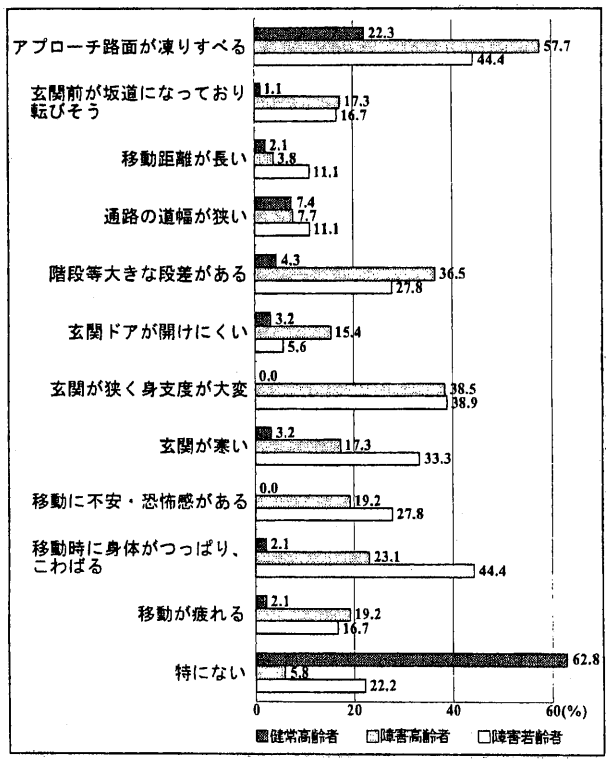

図 2-2　冬の住宅玄関周りの問題（困り事・心配事）

体がつっぱり，こわばる」など，移動に対する不安や危険を 伴うことがあげられている。この雪処理対策として，風除室の設置や車庫を住宅の一 部分に組み込む事例は，住戸内外のつなぎのスペースの工夫として注目される。ま た，アプローチ部分にロードヒーティングや融雪機を設置する事例がみられ，これに 対する居住者の要求も多いが，エネルギー負荷が増大するという問題がある。

2.4 まとめ

北海道では住宅の玄関まわりの形態とアプローチの雪処理がバリアとなって，高齢者・障害者の冬の外出行動が制約されていることがあきらかになった。高齢者・障害 者の在宅生活における外出の自由度を高め，生活の質の向上をはかるためには，住宅 のアプローチ，外階段，ポーチ，玄関内部までの一連のアクセシビリティの改善と，雪処理とそのエネルギー負荷を考慮した，住宅の内外をつなぐ空間デザインの検討が 課題である。

3. 低床型住宅とユニバーサルデザイン

3.1 雪国の高床住宅

積雪量が１ｍをこえることもある北海道や東北北陸の雪国では，窓などの開口部が雪に埋もれないように，住宅の１階床高を高くする（平均60～80㎝，なかには1.5～２ｍのものもある）高床住宅注2) が増加してきている。

高床住宅のメリットとしては，①１階に雪がかぶらないので明るい，②床下を車庫・収納スペースとして利用可能，③除雪や雪囲いの作業を低減できる，などの点があげられる。しかし反面，①入り口の階段の昇降が不便，②居室と庭の連続性や一体感がない，③防災性（火災時の避難等）への不安，④近所づきあいが疎遠になりがち，⑤景観的に魅力がない場合がおおい，⑥建設コストが割高になる，などの問題点も多く指摘されている。特に高齢者・障害者にとって，高床にともなう住宅内外の段差を解消するには，移動支援機器の導入が避けられない。そういうなかで玄関アプローチや屋根の融雪装置注3) の普及も進み，物理的・心理的バリアーの生じる高床住宅の見直し論も出始めている。

3.2 雪国の低床型住宅

近年発想をかえて，高齢者・障害者が自立生活を送るために，住宅の１階床高 を地盤面に可能な限り近づける「低床型住宅」があらわれてきた。ここで低床型住宅 とは，１階床高が20㎝以下で，１階が主要な生活面となっている住宅をいう。なかに は5㎝以下の超低床型住宅も見られる。

この低床型住宅の特性として，①複数の出入り口：玄関のほかにも出入り口をもっている，②敷地の傾斜と中庭・テラスの工夫：敷地を傾斜させたり，中庭やテラスを設けることによって，玄関のみならず他の出入り口も低床化し，高齢者・障害者にとって住宅の出入りが容易になると共に，生活行動範囲が中庭やテラスまで広がっている，③多様な出入り形態と外との関係性：居間や老人室などの玄関以外の出入り口がよく利用されることがあり，とくに老人室のような特定の居住者の部屋に出入り口をもつ空間構成は，高齢者・障害者が戸外や近隣社会との交流を促す上で有効に働いている，④内外の中間的空間：下足で生活ができる，住宅内外の中間的性格をもつ土間空間を設けている，⑤雪処理の工夫：一般的に北海道では，玄関アプローチにのみロードヒーティングを施したり，屋根を架けたりする住宅が多いが，これに対して低床型住宅では，玄関アプローチはもとより，他の出入り口にもロードヒーティングを施し，低床の開口部を雪から保護するという独特の融雪法が見られ，そのため玄関以外の出入り口が冬でも利用されている，といったことがあげられる。

このように低床型住宅は，高齢者・障害者にとって住宅内外での移動環境の改善効果が非常に高く，足の障害に悩む居住者の自立生活支援空間として有効であり，さらには戸外や近隣社会との交流を促す可能性を秘めている。北国によりふさわしい低床型住宅の空間構成，雪処理方法などの検討が今後の課題である。

3.3 北国の高齢者・障害者対応住宅からユニバーサルデザイン住宅へ

寒冷積雪地に限らず，今日の住宅は高齢者・障害者への適合性が求められている。誰もが年をとり，ときには障害をきたすリスクをもつ中で，段差解消や手すりの配置，動作空間の確保などのバリアフリー仕様は今や必須になりつつある。しかし，こ うしたバリアフリー化はこれまで居住者の障害状況への対応・対策に主眼がおかれて きた。

居住者の生活上の障壁を除去したり介護負担の軽減を図るための物理的環境整備は 高齢社会における住宅プランの出発点である。けれども，その人らしい生活の場とし て機能し，あるいはライフスタイルの可能性を拡げる生活拠点であるためには，単に 基本的ADL（日常生活動作）や生活関連動作に対応するだけでなく，そこでどのような生き方や日々の 過ごし方をするかといった志向性を叶えるための住宅プランが求められる。さらに，コミュニティの重要性が再認識される昨今，居住者の便宜のためだけでなく高齢者・障害者の来訪や交流も念頭においた住宅プランが必要である。こうした観点に基づいて，生活の場がその人らしく個別的であることを普遍化し，かつ高齢者・障害（児）者との共生の普遍化を図る象徴がユニバーサルデザイン住宅といえよう。

寒冷積雪地においては屋外の雪処理および屋内の温度

調整が肝要であるが，冬期が もたらす生活への最大の影響は外出や往来が阻害されて閉じこもりがちになることである。とりわけ高齢者・障害者にとっては健康不安にも通じる切実な問題である。北国型のユニバーサルデザイン住宅は，冬期の室温保持にとどまらず，冬期の生活を斬新に転換する可能性を織り込む必要がある。北国型ユニバーサルデザイン住宅を特徴づける要件として，①冬期の屋内外の出入りに温度調整を含む便宜が行き届くこと，②屋内・準屋内に多用途の自在空間を 確保して生活行動や過ごし方の拡大・多様化にあてることが挙げられる。とくに後者は冬期の健康維持・増進や，趣味，生きがいなどの様々な面から生活の充実に寄与するものと考えられる。注4)

4. 北海道の生活・住宅とエネルギー

4.1 はじめに

北海道の住宅は，近年の断熱技術の飛躍的な向上により，省エネルギーで快適な生活の場を提供する可能性を身に付けた。寒冷な気候条件は，室内の温度管理を容易にし，自然換気動力という，新たなエネルギー源をももたらしている。北海道の住宅を取り巻くエネルギー事情を概観し，環境のユニバーサルデザインを目指して，多様なエネルギー利用と新ライフスタイル・魅力的な住生活概念を考える。

4.2 北国の暮らしとエネルギー

北国の暮らしはエネルギーに支えられている。古来人類は熱を消費する事で暮らしを支えてきた。特に寒冷地では生存のために暖房は欠くことのできないものであった。

図4-1は近年の暖房用エネルギー消費の動向である。全国的に暖房用エネルギー需要が急増する中で，本道の住宅はこの間全室暖房が広く普及したにもかかわらず，増加していない。これは，建物の熱性能の大幅な向上によるものと考えられるが，住宅全体のエネルギー消費量に占める暖房用エネルギーの割合は，50％前後と本州の住宅に比べると2倍以上になっている。このため，これまでエネルギーを省くことに腐心してきたが，暖房用エネルギーの一層の削減には大きな投資が必要なレベルに達しており，単純な性能向上では，受け入れにくい状況になっている。

一方，コージェネレーションなど新たなエネルギー源の模索が行われてきたが，戸建住宅レベルでは，エネルギー需要バランスが著しく偏るため，有効な利用方法が提案されるにはいたっていない。これまでのエネルギー消費量を増大させること無く，新たな熱需要を組み合わせて，有効なエネルギーシステムを構築する道を目指す

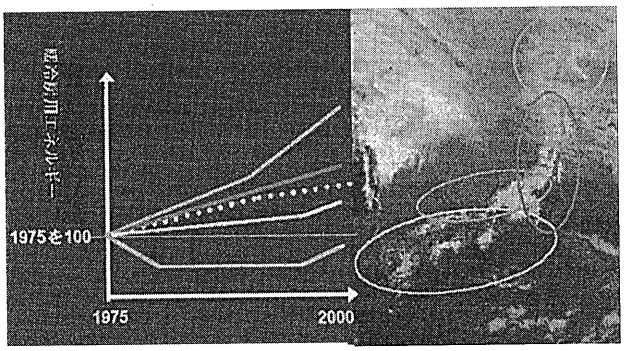

図4-1 暖房用エネルギー消費量の推移

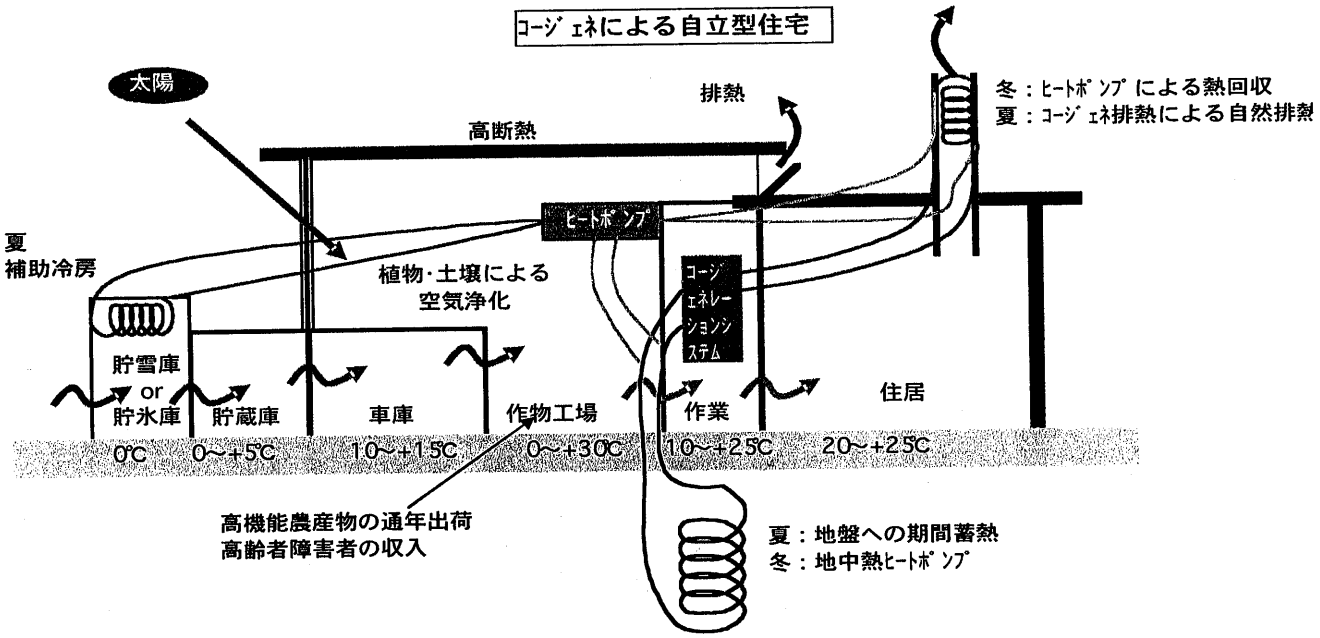

図4-2 コージェネレーションを核とした高齢者の農的生活を可能とするエネルギーカスケード利用システムの提案

ことは，豊かな北国の暮らしを支える方向の一つである。今後，高齢者の増大と共に在宅率が上昇し，住宅の環境保持とエネルギー消費のバランシングは大きな課題である。農的な生活と組み合わせることで，生活，生産の場を住居の一部として取り込み，これまでのエネルギー消費を増大させずに，北国に新しいライフスタイルを提案することが可能と考えた。

4.3　コージェネレーションを核とした高齢者の農的生活を可能にするエネルギーカスケード利用システム

コージェネレーションの住宅適用については，絶えずエネルギー需要のアンバランスが課題となっている。熱，空気のカスケード利用による徹底した省エネルギーと，作物工場（生産工場であり加工工場である）という有効なエネルギー需要を組み合わせて，比較的大型のコージェネレーションで自立型のシステムを目指す提案を考えた。

1）熱と空気の流れ

住居を中心に作物工場，作業場，車庫，貯蔵庫などの「中間領域」がこれを取り巻くように計画する。この中で，住居から外に向かって，各空間の用途に応じて温度を段階的に外気に近づけるように温度をデザインする。その上で，空気を順次流してゆくことで，換気負荷の低減と貫流負荷の大幅な低減をはかり，コージェネレーションの余剰熱をバランスよく消費するシステムを構築する。

2）冬の流れ

熱需要が大きい季節には，ヒートポンプを利用して換気排熱回収，地中熱くみ上げなどを併用し，熱・電バランスをとる。新鮮外気を車庫，作物工場を経由して取ることで，予熱と空気浄化，適切な温湿度分布の形成を図る。通年でポットハーブなど収益性と流通性の高い作物を栽培し，収入源を見込む。作物工場は，半戸外空間として冬季の活動空間として確保する。

夏	冬
熱利用	
①地中期間蓄熱 ②給湯 ③排熱利用自然換気 ④吸収式冷凍機	①給湯 ②暖房補助 ③作物工場の暖房 ④融雪
電気	
① 一般電力 ② 貯氷・雪庫のサポート	①一般電力 ②換気排熱・地中熱利用ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ暖房

表 4-1　季節によるエネルギー利用の内容

3）夏の流れ

最も熱需要の低下する季節なので，昼光利用や夜間の自然換気利用などを行い，電力需要を極力削減して熱電バランスをとる。また電力需要に合わせて発生する熱は，給湯以外に期間蓄熱や自然換気動力として利用する。さらに大型の蓄熱水槽を用意し，給湯熱源の平準化を図ることも検討する。

4）実現に向けて

建築的対応としては，空間容量の大きい作物工場は一般の住宅空間の建築レベルとしては建設コスト的にも困難で，仮設空間のような断熱温室的なアイディアが必要となるだろう。また維持管理も自動化せず，居住者が手動で容易に操作可能な工夫がなければコスト的にも運用上も成り立たない。しかし，幾多の課題がある事もまた，建築を取り巻く新たな生産活動を引き出す可能性を持っていると前向きに捕らえたい。

4.4　まとめ

多くの高齢者は，園芸や家庭菜園など農的な生活を持っている。しかし，趣味としての活動にはなっていても，生産の場としてはまったく機能していないばかりでなく，積雪寒冷地では冬季間，こうした農的生活は制限されているのが実情である。暖房に使用してきたエネルギーを，カスケード利用しながら農業生産に使うことでバランスをとり，コージェネレーションのエネルギー需要バランスを生み出し，新たなライフスタイルを提案する可能性を示した。建築的な対応や，設備対応に多くの課題はあるが，単なる省エネルギーから，エネルギーを生かし，生活を作る方向への転換は，来るべき高齢化社会に希望を見出すことが期待できると考える。

5. マイクロコージェネレーションシステムの開発周辺

5.1　はじめに

多雪，寒冷の条件が厳しい北海道の冬期間において，環境負荷を軽減しつつ快適で多様なライフスタイルを創出することが望まれている。個々人の省エネルギーへの努力に頼るだけではなく，「将来にわたって持続するシステム」を確立し普及していくことが必要である。

電熱エネルギーを有効に活用する自立分散型のマイクロガスコージェネレーションシステムを身近な住宅に導入することにより，これらの課題が実現可能となる。

5.2　世界・日本の開発・利用動向

世界的には米国ワールドウォッチ研究所が，燃料を石油中心から水素への転換を提案している。石油→天然ガス使用の高効率のコージェネレーションを普及→ハイタン（天然ガスに15～20％の水素を混合）に切替→次第に水素の混合比を上げる。水素は太陽，風力，水力等の

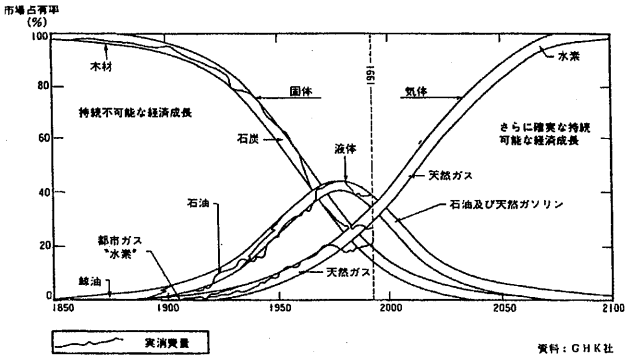

図 5-1　世界のエネルギーの変遷

部門別	1973年(百万kl)	1999年(百万kl)	伸び率
運輸	46.8	99.6	213%
民生	51.7	104.4	202%
産業	186.7	196.0	105%

表 5-1　家計・企業部門別エネルギー消費の推移
（出典：資源エネルギー庁省資源対策課）

自然エネルギーを利用し電気分解で製造する。

日本国内のエネルギー消費は，構成比は産業部門が高い割合を占めてきたが，近年は民生部門と運輸部門の需要の伸びが高い。

中長期的には上記に述べた水素エネルギーの活用が考えられるが，当面の対策として，運輸はハイブリッドカー等の省エネシステムの普及，民生部門では家庭でのガスコージェネレーションの導入等による，電熱利用率の向上によってエネルギー消費の削減が重要である。
ガスコージェネレーションの普及は，技術開発と系統連係の規制緩和に伴い，99年には発電容量で５百万KWに達している。本田技研や大阪ガスによる家庭用１KWガスコージェネレーションが量産にはいり，100台規模のフィールドテストが本年度予定されており本格的な普及期に入ろうとしている。

5.3　北海道でのガスコージェネレーションの実績と展望

北海道においては，寒冷地における熱利用のメリットが理解され，大型を中心にガスコージェネレーションシステムの稼動実績は発電ベースで３０，０００ｋｗに達し，大阪，東京についで第３位である。
さらにマンションの共有部分へ10ＫWのマイクロガスコージェネレーションシステムが導入されはじめている。一般家庭用としては二世帯住宅に４KWへの試験導入の例があるなど，北海道内では２～３のメーカーが4.5ＫW～10KWのガスコージェネレーションシステムを製造販売を開始している。また一般家庭用の他に，工場事務所の電源と暖房用として，さらに小規模牛乳生産工場の電源と牛乳瓶の洗浄用給湯設備としてコージェネレーションが活用されている例もある。

特に農村地域では，家畜糞尿の処理としてのバイオガスシステムへの実用試験や，間伐材や籾殻を炭化する過程で発生する木質バイオガスをエネルギー源とする電熱回収実用試験も実施中で，農業，林業地域へのコージェネレーションの普及が大いに期待されている。

本研究のテーマである住・生活分野においては，温度的にも空間的にも豊かな「中間領域」をもつ住宅の提案に合わせたコージェネレーションの導入は，今後北国でのその普及を開いていくものとして期待できる。

6．北国生活を支援するマイクロコージェネレーションシステムの設計

6.1　はじめに

この章では，小型マイクロコージェネシステムを利用・導入した場合に電力・熱量が北国生活の支援を実現

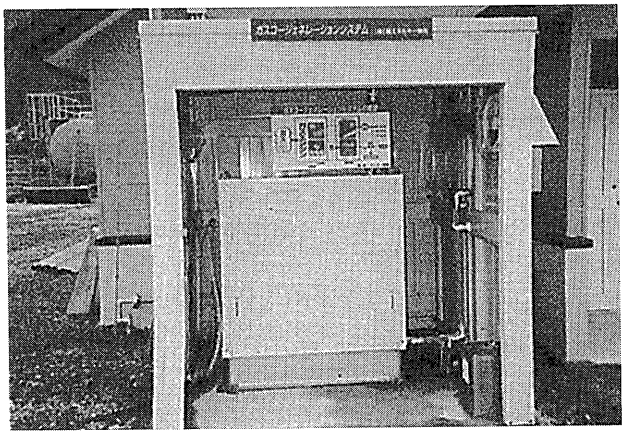

図 5-2　小規模牛乳工場コージェネレーション導入例

するに十分であるかどうか，また経済性があるのかについて設計計算例を以って結論づけるものである。

6.2 設計条件・仮説

導入するコージェネレーションの出力特性を表6-1とする。燃費は電気出力に依存し，電気系無負荷で0.4[㎥/h]で定格負荷時には0.68[㎥/h]とする。

表6-2に札幌圏戸建ての生活に係わって必要とする各種暖房方式の熱量の比較(冬期間10月～４月)を示す。
第１行目は各月における暖房に係わる熱量を示す。但し，モデル住宅の特性は居室約130㎡，熱損失係数1.6[w/

定格電気出力	4[kW]　(3,440[Kcal/h]) 単相交流 50[Hz] 105/210[V]
熱出力	無負荷時　3,000[Kcal/h]
	定格負荷時　7,000[Kcal/h]

表 6-1　ＬＰＧコージェネレーションの特性

㎡]でⅠ地域・次世代省エネ基準で，室内設定温度を20℃とする。燃料源の種類に灯油，ヒートポンプ方式（＝コンプレッサー用電力）そしてコージェネレーション（LPG）を考え，それぞれの得失を比較検討する。灯油単価を45円/l，深夜電力利用の他に通常電力単価を23円/kwhそしてLPG単価を20円/㎡とした場合，年間では暖房のみでそれぞれ95,130円，130,000円そして254,400円程度となる。また，冬期間の一般電力料金を平均8,000円/月とすれば合計の経費は灯油方式で151,100円，ヒートポンプ方式186,000円となる。

しかし，コージェネレーションシステムではこの時同時に電力を発生しており，熱量換算で8,571kcalで，この値は必要暖房熱量の約50%に相当する。このうち使用電力を除いて暖房に振り向けると仮定して計算すると，コージェネレーション方式149,300円となり，灯油方式とほぼ同金額となる。さらにコージェネレーション本体の冷却温風の有効利用を図れば，暖房コストは格段低下する可能性を有する。

表6-3は，同じく札幌圏の冬期間の暖房用熱量と生活に係わる電力量を示すデータである（但し，熱損失係数などは異なる住宅モデル）。同図の灯油需要曲線から分かるように朝の生活の始まりと夕食時以降での時間帯で需要が増大していることが示されている。電力需要曲線では量的な計測が明瞭ではないが灯油需要曲線と強い相関関係を有していることが分かる。

通常，生活には図6-3のように2種類のエネルギー源が必要で，これまで経費が安いと思われた灯油では先の計算例のようにその量だけ経費の増加を考慮しなければならない。これはヒートポンプ方式でも同様である。しかしコージェネレーション方式では，温熱水の他に電力を発生しており経費増は考える必要がない。また，地球温暖化問題などとの関係では，総量としてCO2排出量が低減され地球に優しい熱源として位置づけられる。

6.3　システム設計A案

ここではユニバーサルデザインハウスをモデルにコージェネレーションを設置した場合のエネルギー需要を検討した結果を表6-4に示す。高温領域（20℃居室系）80㎡，中温領域(15℃作業室関係) 46.4㎡，低温領域(10℃車庫関係)16㎡，ロードヒーテイング領域20㎡に分割し，損失係数はそれぞれ1.6，3，10［w/k·㎡］とし，ロードヒーテイングは12月～3月の期間のみ夜間8時間運

暖　房　月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	合 計
暖房熱量×１０3[Kcal]	1,281	2,116	2,981	3,427	3,019	2,800	1,833	17,457
灯油方式　　燃料使用量[L]	155	256	361	415	366	339	222	2,114
ﾋｰﾄﾎﾟﾝﾌﾟ方式　使用電力量[ｋＷｈ]	584	965	1,233	1,219	1,101	1,226	836	7,164
コジェネ方式　LPG使用量[m3]	128	212	298	343	302	280	183	1,746
発電電力[Kcal×１０3]	629	1,038	1,464	1,683	1,482	1,375	900	8,571
発電電力量[ｋWh]	731	1,207	1,702	1,957	1,723	1,599	1,047	9,966

表6-2　各種暖房方式の比較

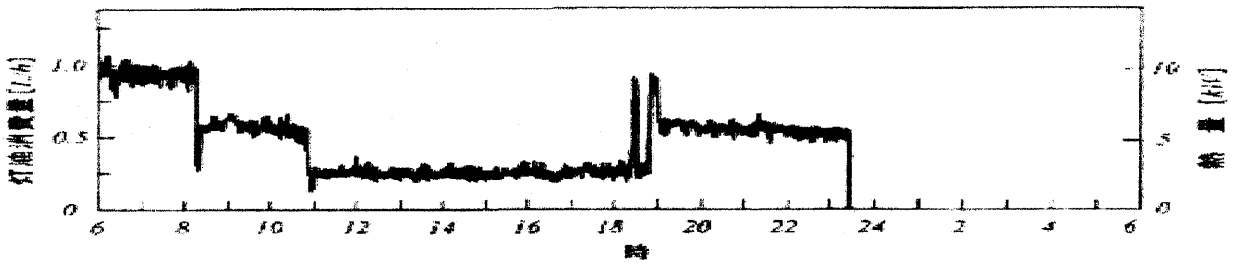

図2 冬期のモデルハウスにおける灯油需要[1]

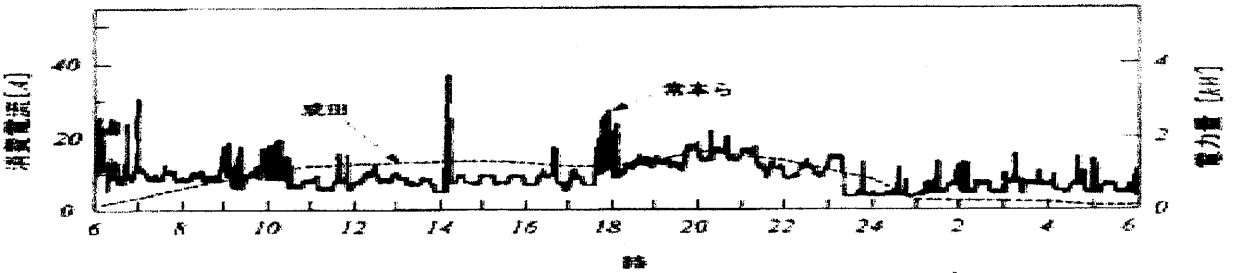

図3 冬期のモデルハウスにおける電力需要[2]

表6-3　冬期のモデルハウスにおける灯油と電力の需要

月　　別	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	合　計
高温領域 [103×Kcal]	753	1,244	1,753	2,015	1,877	1,646	1,078	10,366
中温領域 [103×Kcal]	376	931	1,472	1,760	1,541	1,357	747	8,080(8,184)
低温領域 [103×Kcal]	0	197	1,129	1,446	1,253	1,000	345	5,370
ﾛｰﾄﾞﾋｰﾃｨﾝｸﾞ [103×Kcal]	0	0	397	397	358	397	0	1,549
合　計 [103×Kcal]	1,129	2,372	4,751	5,618	5,029	4,400	2,170	25,365

表 6-4　ユニバーサルデザイン住宅の熱量

転し，融雪エネルギーを80kcal/㎡とする。各月毎の外気温などは表6-2と同じ値とする。また，中温領域では天窓を有していて主として植物育成を図る領域であり，最終的には日照効果による熱量分を減じて計算する（冬期間，日照日数93日８ｈ）。

以上の条件のもとで暖房にかかわる熱量を計算した結果を表6-4に示す。これより生活の目的の応じて温度管理を行う方式では，単一の暖房設備に加えて約2.5倍の熱量が必要となる。尚，中温領域での設定温度を２～３℃下げることで暖房熱量を低減させる可能性を有している。

6.4　総合評価と最終設計案

一般モデル住宅例（130㎡）とシステム設計例Ａ案（163㎡）で冬期暖房熱量が計算された。本例の暖房熱量全体中で居室の次に中温領域での熱量が多くなるが，それらの合計は一般モデル住宅の熱量とほぼ同じといえる。また低温領域の熱源に

コージェネレーション本体の冷却に使った温風を活用する技術を導入すれば熱量は必要ない。ここではその見積もりを零とすれば総暖房熱量は約20,000×103kcalとなり，Ａ案に比べてやや熱量が多くなるが，燃料経費では大きく低減できるといえる。

＜暖房設備機器の配置について＞

暖房器具の配置については２通りが考えられる。通常は各暖房を必要とする箇所に暖房用パネルを取り付けパネル毎に暖房温度を設定する方式である。他にカスケード利用法がある。

① 暖房パネルの配管接続を直列接続して高温領域から徐々に低温領域に導く方式。

② 高温領域だけを暖房し，それに隣り合う中温領域に熱交換機を通して暖房する方式がある。

これらの方式によれば暖房用熱量を低減することが可能である。

7. マイクロコージェネレーションシステムを導入したユニバーサルデザイン住宅

7.1　はじめに

生活環境の質やエネルギー消費に関わる新しい技術は，技術単独で十分な効果を発揮するものではなく，住・生産空間の建築環境の最適化と一体になってはじめて十分な機能を発揮するものである。住宅に適用されるマイクロコージェネレーションシステムもエネルギー消費や二酸化炭素発生量を平均的建物と比較し低減させるだけでなく，今後求められるユニバーサル型の北国住宅の生活の質の向上を可能とする環境技術として構築される必要がある。

7.2　熱のカスケード利用を可能とする段階的な室温度空間の配列

北国の冬の住生活空間を見るとき，現状では，外（マイナス以下の気温）と内（20~25℃の室温居室）の空間しかなく，これが冬季室内生活時間の長い北国の暮らしの多様性と拡がりを失わしめており，今後の高齢社会の到来を考えた場合大きな課題になっている。

内と外の生活をつなぐ役割を果たす空間であり，かつ居室の室温とは異なる，様々な温度環境に対応できる場「中間領域」を，北国型住宅に求められる様々な生活空間の場として配列し，コージェネレーションシステムで生み出される余剰熱を活用し，その徹底利用（熱のカス

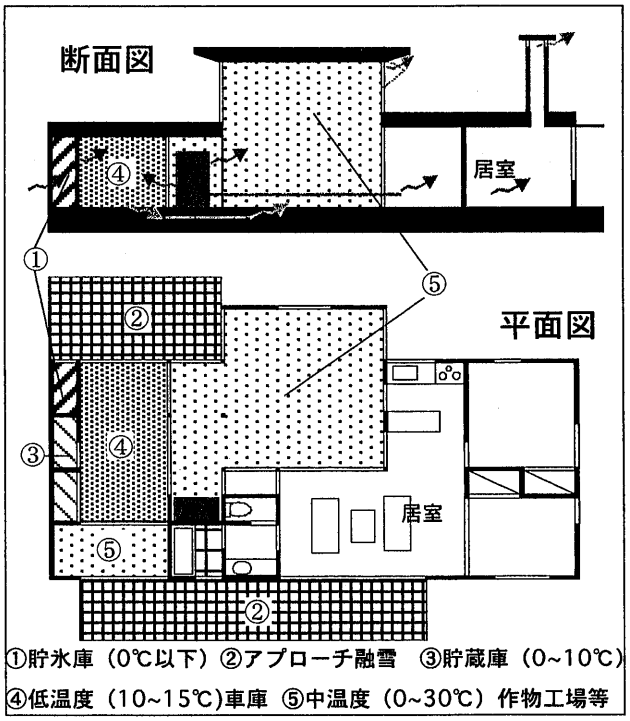

図 7-1 住宅内の室温による段階的の空間配列と中間領域

ケード利用）が可能となる建築空間をデザインする。戸建て住宅モデルでその空間配列と居室の関係を示したのが，図7-1である。温度の低い<外部に近い空間>から，<中間領域>，<居室>と北国の冬の住空間を室温度で分類すれば，次の６段階のレベルを想定することができる。

<外部に近い空間>

①凍らす温度　(0℃以下)・・・貯氷庫（夏の冷房補助）

②融雪する温度（0~5℃）　・・歩道アプローチ等の融雪

③貯蔵温度（0~10℃）・・・・・貯蔵庫（野菜，漬け物）

<中間領域>

④低温度（10~15℃)・作業空間やアイドリング不要車庫

⑤中温度（0~30℃）・・・・・・玄関や作物工場の保温

<居室>

⑥高温度（20~25℃)・・居間，厨房，寝室，便所，風呂

この６段階の温度レベルの空間を，「中間領域」に配置したコージェネレーションの周りに，低い温度の空間から段階的にスペースを配置し，熱のカスケード利用が可能となる配列をもつ住宅を考えることが設計の第１である。

つぎに，ユニバーサルデザイン住宅として低床型住宅であること。住宅の１階床高 を地盤面に可能な限り近づけ，１階床高を地面から５㎝~10㎝とする。複数の出入り口（玄関のほかにも出入り口）をもち，多様な出入り形態と外との関係性をもてるよう計画する。玄関アプローチのロードヒーティングはもとより，他の出入り口も低床の開口部を雪から保護するデザインとする。

7.3　コージェネレーション導入ユニバーサルデザイン住宅設計

戸建て型コージェネレーション導入ユニバーサルデザイン住宅の平面配置図，ならびに断面模式図を図7-2，3，4図に示す。「中間領域」に配置したコージェネレーションの周りに，低い温度の空間から段階的に空間を配置し，熱のカスケード利用が可能となる配列の設計を考えた。「中間領域」のなかで中心となるのは，作物工場と呼ばれるインナーテラス温室的な空間であり，通年を通して，温湿度の調節装置になるとともに，植物・土壌による空気浄化機能の働きをする。天井高さは，居室の２倍弱であり，大きな空間容量をもち，ハイサイドの窓からの太陽光を十分に受けるよう設計している。壁等は，居室に比べ温室的性能の空間だが，屋根面は高断熱している。ここで，栽培された作物は，高機能農作物として通年出荷し，高齢者や障害者の収入確保の手段とすることも期待できる。

この多機能の作物工場の片側に車庫や収納，作業等の機能により段階的に室温が設定される空間が配置され，

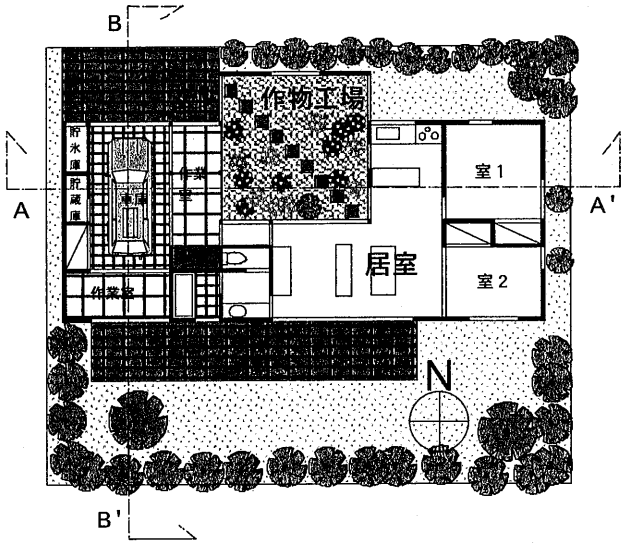

図7-2　中間領域をもつユニバーサルデザイン住宅

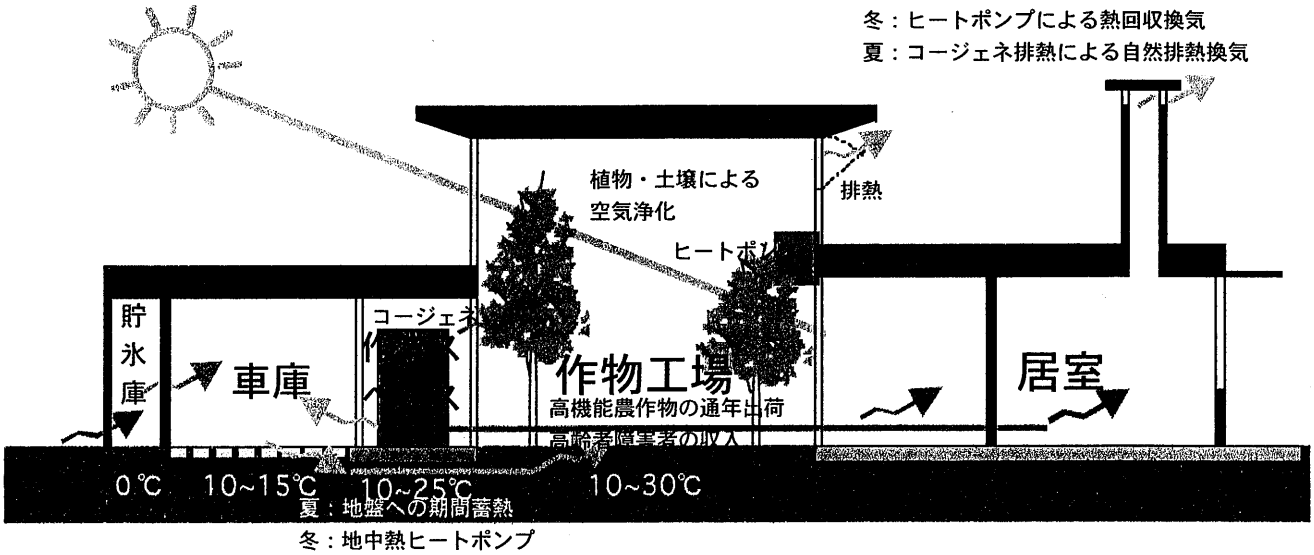

図 7-3 中間領域をもつユニバーサルデザイン住宅・Ａ－Ａ’断面模式図

反対側には居間・厨房・寝室等の居室群が配置される。「中間領域」のなかでもうひとつ特色をもつものが車庫の存在である。従来，車庫は屋根のある外部と考えられてきた。本研究の設計ではコージェネレーションの余剰熱を活用し，車庫を低温度の暖房で内部化することにより，冬場車のアイドリング不要による省エネルギー効果を生むだけでなく，作業空間としても多様に活用できる場とすることを考えた。

この作物工場と車庫は，玄関アプローチや庭への通り抜けのスペースとしても使われ，玄関，居室と「中間領域」，庭など住宅全体を媒介するスペースとなる。またこの住宅全体のアクセシブルな空間配置は，低床型住宅で地面とは5㎝~10㎝の低いレベル差のため，ユニバーサルデザインにつながっていくものとなる。その条件を満たすため，コージェネレーションの余剰熱を活用したロードヒーティングにより，玄関，庭，等の出入り口は，冬季間，雪処理する設計にもなっている。

コージェネレーションの熱活用では，弱点とされる夏期の熱エネルギー利用法についても，熱を活用した自然排気や夏期比較的湿度が高い北海道における除湿装置（デシカント除湿など）の運転，さらには，地盤への期間蓄熱なども行い，地域エネルギーとして期待される冬季の備えにするなどのシステムを考えている。

北国住宅は，高気密，高断熱化に伴い，換気が最重要課題となりつつある。しかし，冬季の新鮮空気の居室への取り入れによる，エネルギー損失や冷気の進入による不快感などから，十分な吸気を確保することも課題となりつつある。排気にともなう熱損失を回収するヒートポンプ活用の排熱回収換気システムの導入や，中間領域を居室の吸気スペースととらえ，外部からの新鮮空気を中間領域で，低中温に上げ，そこから居室に取り入れる方策など，換気についても熱のカスケード利用の考え方を徹底する設計を考えている。

7.4　生活環境における北国型地域計画への展開

生活環境における北国型地域計画への展開のコンセプトは「コモン（共に）」という発想が鍵となる。今後高齢社会の住環境のあり方として求められるのは住宅の自立性も重要だが，地域でケアーしあう考え方を育てる地域計画も重要となる。住宅と福祉施設，住宅と仕事場など住宅とその他の機能の共空間のあり方を緊急時のライフラインの確保とからめ，地域の発想から具現化していくことである。

特に人口減少や高齢者独居の増加が予測される郊外住宅地モデルでは，余裕のある敷地計画において，作物工場など，コージェネレーションの施設と熱電活用を共同で利用する設計を考えた。共同利用の場合，施設の建設費の共同負担というメリットだけでなく，住宅のエネルギー消費の平準化もある程度，期待され，コージェネレーション活用においては，様々なメリットをもつ。4戸の集合型のサイトプランを図7-5に示す。

4戸で，1台のコージェネレーションと作物工場を共有し，それぞれその周りに各戸の「中間領域」と居室が並ぶという空間配列の住宅であり，作物工場は各戸からアプローチできるだけでなく，敷地間をつなぐ歩行者専用道からもアプローチできる。歩行者専用道はさらに，夏は共同の畑である冬季は雪処理スペースになる場をつないでいく。そこにはコージェネレーションの電気活用によるバイオ利用の生ゴミ処理システムなどの設置など，従来にない分散型，循環型生活が可能となる敷地計画，地域計画のモデルが考えられる。

この考え方のコンセプトは「オンサイト」ということである。土地や環境のその場（オンサイト）でエネルギー，資源，食，などの確保が可能となる住宅環境のあり方を追求し，高齢社会でのケアー支援が増大していくなかで，生活者がすこしでも自立型の生活スタイルを日々の暮らしから考えていく，その基盤を養う環境デザ

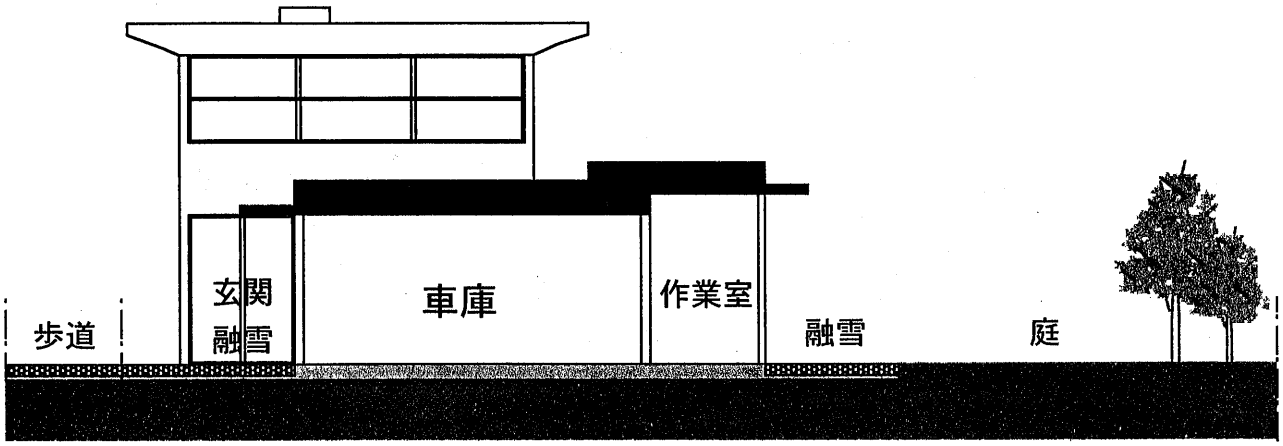

図7-4 中間領域をもつユニバーサルデザイン住宅・B－B’断面模式図

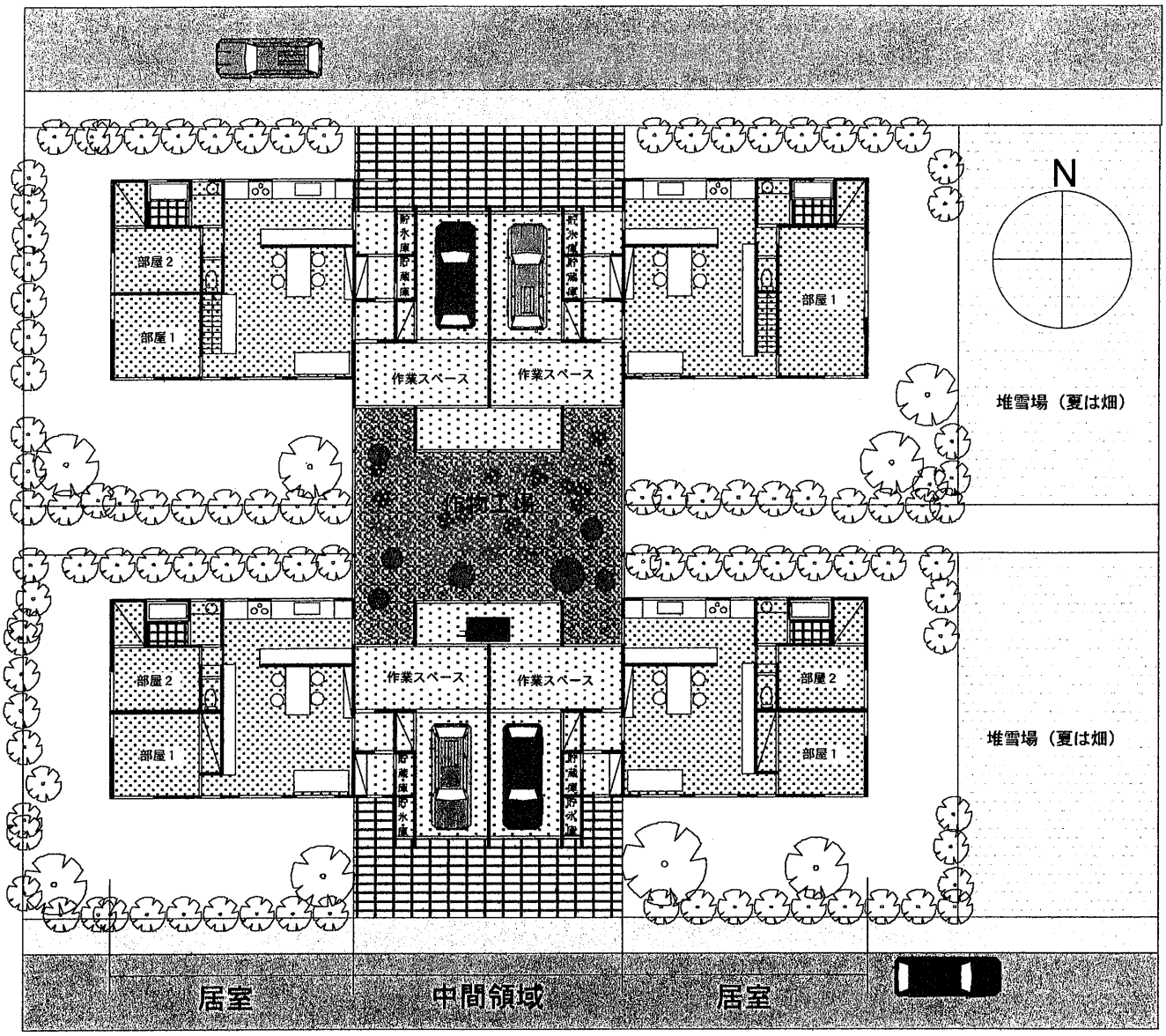

図 7-5　4戸共同型のコージェネレーション活用ユニバーサルデザイン住宅サイトプラン

インのあり方を検討するものである。

8. おわりに

8.1 要約

半年以上にわたって続く冬の間その生活行動が大きく制約される高齢者・障害者にとって，冬も自由に外出・訪問等ができ，かつ活動的な生活が営めるようになることは，自立生活支援の観点からはもとより，夏冬通して活動的で生きがいのある新しい生活スタイルの創出につながるという点からもきわめて重要な意味がある。本研究はそうした生活スタイルの実現を目指す住宅とエネルギーの総合型研究である。ここで検討したマイクロコージェネレーションシステムは，エネルギーの効率的利用を考えてのものであり，かつ個々人が自分のライフスタイルに応じてその利用方法を選択できる自己選択性という点からも，真にこれからの時代に応じたものと言え，その点でもほぼ当初の計画どおりの研究成果が達成できたと考える。要約すると以下のようになる。

①北海道では，高齢者・障害者の冬期の外出が大幅に制約されており，その要因として高床住宅等の特有の住宅形態によるところが大きい（2章）。

②これに対して住宅の床を地盤面に近くに下げた低床型住宅では，高齢者・障害者の活動が大きく誘発され，低床型によるユニバーサルデザイン住宅の有効性が確認された（3章）。

③一方で低床型ユニバーサルデザイン住宅の場合，積雪の影響が大きくなる課題が指摘される。これに対してマイクロコージェネレーションシステムによる熱利用の有効性が確認された（4，7章）。

④またマイクロコージェネレーションシステムによる熱のカスケード利用は北国住宅の空間原理及び北海道の風土に適した新ライフスタイル創出に極めて有効なことが

明かにされた（4章）。マイクロコージェネレーションシステムは，北海道内でも既にさまざまな適用例があることが示された（5章）
⑤熱のカスケード利用等の特性に対応した独自のマイクロコージェネレーションシステムの理論的開発が行われ，その有効性が確認された（6章）
⑥独自の理論設計がなされた新型マイクロコージェネレーションシステムを採用するとともに熱と空間のカスケード利用の考え方を適用した新しいユニバーサルデザイン住宅の基本計画が実施され，北国に適した魅力的なライフスタイルの実現が可能なことを検証した。住宅に併設された作物工場は，カスケード利用の考えから生み出された新しい住スタイルの一つである（7章）。

8.2　課題

実現に向けて以下のような研究課題が上げられる。いずれも継続的・体系的な研究が必要かつ有効で早急な解決が望まれる。
①新しい住宅とライフスタイルに対する一般市民の意向把握調査が必要である。
②それらを基に新しい住宅デザインと住宅タイプのヴァリエーション開発が必要になる。
③コージェネレーションエンジンの実用化に向けた試験開発が必要である。
④同時に，実験住宅の建設によるエンジン運転とモニターによる居住実験及び居住性能評価が必要である。
⑤実用化試験，居住性能評価等とともにコストパフォーマンスの分析が重要な意味を持つことになる。

＜注＞
1）北海道大学野口研究室が1996年におこなったもので，回答者数は健常高齢者，障害高齢者，障害若齢者それぞれ101人，55人，20人，平均年齢は72歳，70歳，51歳であった。
2）例えば，新潟県ではs 59.60.61の豪雪以降，雪処理低減のため建てられはじめ，加えて，基礎部分が（車庫，収納などの利用の場合）床面積に算定されないため，税金面からのメリットもあり，急速に普及し，新築住宅の過半を占めるようになった。
3）屋根融雪装置については，新潟県などの北陸地方に多い。
4）3章は北海道大学野口研究室が2000～2001年におこなった9例の低床型住宅（道内の戸建住宅）の実態調査にもとづいている。

＜参考文献＞
1）田中敬子，野口孝博：北海道における低床型住宅の形態特性と居住実態－北国のユニバーサルデザイン住宅に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集・建築計画Ⅱ，pp.333-334，20
2）田中千歳，野口孝博：北海道における高齢者・障害者の冬期生活行動と住宅アプローチ空間の雪処理，第13回雪工学会大会論文集，pp.59-66，1996.11
3）野口孝博：北国における在宅高齢・障害者の外出環境とユニバーサルデザイン住宅－人とふれあい，冬も外出しやすい家づくり－，pp.365-370，2002年北方都市会議INあおもり　冬の都市フォーラム論文集，2002.2