

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ダイレクトゲインシステムを導入した住宅における建築内外の熱環境予測に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	河合英徳
Author(English)	Hidenori Kawai
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9309号, 授与年月日:2013年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:梅干野 晃,浅輪 貴史,田村 哲郎,中村 恭志,湯淺 和博
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9309号, Conferred date:2013/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Type(English)	Doctoral Thesis

平成 25 年度 学位論文

ダイレクトゲインシステムを導入した住宅における
建築内外の熱環境予測に関する研究

指導教員 梅干野 晁 連携教授
浅輪 貴史 准教授

東京工業大学 大学院総合理工学研究科
環境理工学創造専攻 博士課程 10D53386

河合 英徳

目次

第1章 序論	1
1-1 研究の背景	2
1-2 関連する研究と本研究の位置づけ	4
1-3 研究の目的	8
1-4 本研究の構成	9
参考文献	11
第2章 市街地の屋外熱環境の現状とダイレクトゲインシステムの導入可能性の分析	13
2-1 はじめに	14
2-2 市街地の住宅へのダイレクトゲインシステム導入のための設計条件	15
2-3 検討対象の市街地の概要	17
2-4 対象市街地における現状分析の方法	19
2-4-1 対象市街地におけるダイレクトゲインシステム導入のための課題	19
2-4-2 解析対象敷地の概要と特徴	20
2-4-3 解析で用いる数値シミュレーションモデル	22
2-4-4 解析条件	26
2-5 冬季における市街地の受熱日射量の分析による開口部の配置の検討	27
2-6 夏季における市街地の受熱日射量の分析による開口部の配置の検討	33
2-7 夏季における建築外部空間の熱放射環境の分析による樹木の配置の検討	35
2-8 まとめ	40
参考文献	41
第3章 建築外部空間の熱収支シミュレーションと連係したダイレクトゲインシステムの 性能予測方法	43
3-1 はじめに	44
3-2 ダイレクトゲインシステムの性能予測のための要件	45
3-3 既往研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測	47
3-3-1 パッシブソーラーシステムの性能予測方法に関する既往研究	47
3-3-2 既往の建物熱負荷計算における建築外部空間の取り扱い	48
3-4 本研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測方法	51

3-4-1	本研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測の流れとアルゴリズム の改良点.....	51
3-4-2	建物外表面の吸収放射量と表面温度算出.....	54
3-4-3	室内に透過する直達日射の取り扱い.....	55
3-4-4	室内に透過する天空日射・反射日射の取り扱い.....	59
3-4-5	蓄熱部位の吸収日射量を考慮した室温・熱負荷の算出.....	61
3-5	まとめ	68
	参考文献	69
第 4 章	建築内外の設計要素がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響の解析 ..	71
4-1	はじめに	72
4-2	性能予測方法の誤差要因が解析結果に及ぼす影響.....	73
4-2-1	既往の数値解析手法における検証.....	73
4-2-2	性能予測方法の誤差要因.....	74
4-2-3	解析条件.....	76
4-2-4	解析結果.....	83
4-3	ダイレクトゲインシステムの室温変動に及ぼす各種要因の分析.....	89
4-3-1	計算ケースの設定.....	89
4-3-2	樹木による日射遮蔽が室温の低下に及ぼす影響.....	93
4-3-3	室内表面の直達日射量分布が室温に及ぼす影響.....	96
4-4	まとめ	102
	参考文献	103
第 5 章	ダイレクトゲインシステムを導入した市街地の住宅の提案と建築内外の熱環境の 予測・評価.....	104
5-1	はじめに	105
5-2	ダイレクトゲインシステムを導入した市街地の住宅の提案方法.....	106
5-2-1	現状分析に基づく市街地の住宅における提案と熱環境予測の流れ.....	106
5-2-2	対象市街地における空地の活用の方向性.....	108
5-2-3	空地の活用法に関する既往研究.....	109
5-2-4	戸建住宅の建築外部空間における空間形態・用途に関する既往研究.....	110
5-3	ダイレクトゲインシステムを導入した市街地の住宅の提案.....	113
5-3-1	対象敷地の概要と数値解析での検討項目.....	113
5-3-2	対象敷地における提案の与条件.....	117

5-3-3 樹木と開口部，蓄熱部位の設定.....	120
5-4 提案した市街地の住宅における建築内外の熱環境の予測・評価.....	126
5-4-1 計算条件	126
5-4-2 樹木の配置が冬季と夏季の熱放射環境に及ぼす影響.....	127
5-4-3 樹木，隣棟建物の日射遮蔽を考慮した開口部，蓄熱部位の配置が冬季・夏季の 室温に及ぼす影響.....	131
5-5 まとめ	137
参考文献	138
第 6 章 総括	140
6-1 総括	141
6-2 今後の課題	144
謝辞	146
発表論文一覧	149
付録	154

第 1 章 序論

- 1-1 研究の背景
- 1-2 関連する研究と本研究の位置づけ
- 1-3 研究の目的
- 1-4 本研究の構成

1-1 研究の背景

地球温暖化や化石資源の枯渇といった地球規模での環境問題の深刻化への対策等の社会的背景を受け、環境配慮型の建築やまちづくりへの要請が高まっている。環境に配慮した建築のための手法としては、太陽光発電、太陽熱給湯などの自然エネルギーを利用した建築設備やパッシブデザインによる室内気候の改善、緑化や風通しを利用した屋外熱環境の改善といった立地気候特性を生かした建築的な手法が挙げられる。

特に、住宅において立地・気候特性を室内気候の改善に活かしていくためには、冬季には日射を開口部から取り込み、高い室温を維持し、夏季には開口部から透過する日射を極力遮蔽したうえで、通風や換気により、夏季の室温の上昇を抑制していくことが望ましいと言える。このように立地・気候特性を住宅の設計に活かすことで快適な居住環境の形成を図りつつ、省エネルギーの性能向上を図るパッシブデザインの手法は、環境配慮型の建築における基本的な手法として位置づけられ、常にその在り方が国際的に議論されてきた¹⁻¹⁾。しかしながら、このような設計を市街地において行う場合、敷地境界一杯に建物が建つ等、「野原の中の一軒家」のような敷地であることはほとんどなく、隣棟建物や樹木によって冬季に十分に日射が得られない、隣等建物や屋外構造物によって風通しが悪くなるなどの課題が挙げられる等、住宅の周辺環境に配慮した設計が必要であると言える。

一方で市街地の住宅の建築外部空間は洗濯などの家事の場、近隣住民とのコミュニケーションの場としても利用されている。特に住宅のパッシブデザインでは、建築内外を連続した空間としてとらえ、居住者が自然環境とのレスポンスな関係を構築していくことが議論されており¹⁻²⁾、建築外部空間を室内と連続した生活空間として積極的に活用したうえで屋外生活空間に快適な熱環境を形成していくことが重要であると考えられる。

しかしながら、市街地における建築外部空間に着目すると、舗装された地面等の周辺地物からの熱放射による熱環境の悪化や周辺建物により風通しが阻害される等、課題が挙げられる。よって、室内だけではなく建築外部空間に良好な熱環境を形成していくことが課題であり、これは市街地の住宅においてパッシブデザインを導入する場合においても例外ではない。

そこで、本研究では市街地における建築内外の熱環境に配慮したパッシブデザインの一つとして、建築外部空間を活用し夏季に良好な熱環境を形成しつつ、ダイレクトゲインシステムを導入することで冬季に安定した室内気候を得る住宅の設計に着目する。

このようなパッシブデザインによる住宅設計では、建物自体の設計が建築内外の微気候形成を決定づけていることから、機能性、審美性、環境性能とのバランスを考慮すること

となる。特に、市街地では熱環境以外の視点からも騒音、大気汚染、プライバシーの問題も顕在化しており、周辺環境との関係を考慮しながら限られた建築外部空間を有効に活用していく必要がある。よって、本研究ではダイレクトゲインシステムを導入した住宅を対象として、建築内外の設計要素が建築内外の熱環境にどう寄与するかを数値シミュレーションにより予測・評価する方法について検討していく。

1-2 関連する研究と本研究の位置づけ

(1) 市街地の住宅における建築内外の熱環境に配慮した設計とその熱環境の予測

市街地の住宅における建築内外の熱環境に配慮した設計として、住宅にダイレクトゲインシステムを導入する場合、冬季に十分な日射を確保する必要がある。特に、市街地では隣接する敷地に建物や塀がある場合、その日射遮蔽の影響を受けることから、あらかじめその影響を確認したうえで日射の取得に有効な建物のボリュームや居室、開口部の配置の配置を計画していく必要がある。

一方で、建物が群として存在する市街地において建築外部空間を建物や屋外構造物に囲まれた空間と定義すると、建築外部空間では周囲を隣棟建物や塀に囲まれているうえに、周囲の人工的な土地被覆の影響を受けることから、夏季の熱環境の悪化が想定される。建築外部空間の熱環境を改善する手法としては、街区の風通しの改善、保水性舗装などの蒸発冷却手法の利用、高反射性塗料による表面温度上昇の抑制、緑化による緑陰効果の利用等が挙げられる。特に、建築外部空間の緑の活用は近年の環境配慮型建築の動向ということもでき、既存の緑豊かな敷地の特性を生かした住宅地の事例¹⁻¹⁵⁾、住戸間に共有の庭を配置した住宅地の事例¹⁻¹⁶⁾等が注目され、特に緑化によって建築外部空間を生活空間として積極的に活用していく事例が増加している。浅輪らはこのような緑化の活用を熱環境の視点から捉え、高木に囲まれた緑豊かな住宅地における緑陰効果が夏季の建築外部空間の熱放射環境と室内気候の改善に寄与することを実測によって明らかにしている^{1-17),1-18)}。

このように、樹木、隣棟建物、屋外構造物といった建築外部空間の空間形態に起因する日射遮蔽は、建築内外双方の熱環境に影響している。そのため、夏季にデッキ等の生活空間に日射遮蔽を行うために植栽した樹木が冬季の室温にどのように影響するか、夏季に建築外部空間と建物の開口部の双方を日射遮蔽するためにはどのような形状や樹種の選定、配置を行うか等、建築内外、冬季と夏季の熱環境の相互関係を考慮した検討が必要である。

このような建築内外のそれぞれの空間に形成される熱環境を予測する方法については、建築外部空間、室内それぞれにおいて熱環境を予測する手法が示されている。まず、建築外部空間の熱環境を予測するための数値解析手法としては吉田ら¹⁻¹⁹⁾が樹木の流体力学的影響、樹冠内での短波長、長波長の減衰、蒸散による潜熱への影響を考慮した建築外部空間における対流、放射、湿度の連成解析手法を示している。しかし、物理現象の再現性が重視され、解析街区モデルは直方体の建物配列によって再現されており、建物の形状、配置、構成材料を含めて考えるには非常に困難である。また、梅干野ら¹⁻²⁰⁾は、建築外部空間デザイン的设计支援を目的として、その空間形態と構成材料が熱放射環境に及ぼす影響を予測

するためのツールを開発し、樹木の配置や形状、樹種や建築外部空間の空間形態・構成材料の違いが熱放射環境の形成に影響を及ぼすことを明らかにしている。

一方で室内の熱環境予測としては室毎を平均化したSMASH等の熱負荷計算によって室ごとの室温・熱負荷を予測したり、面毎の表面温度の予測を行うことで平均放射温度を予測する試みが行われている。また、近年ではCFD解析によって室内の上下温度分布を予測する試み¹⁻²¹⁾が行われているが、いずれの手法についても、予測の対象を建築外部空間か室内のいずれかとしていることから、他方の日射や表面温度の扱いについては簡易に扱われていることが多い。

よって、本研究では建築外部空間の空間設計と形成される熱放射環境を考えながら、各時期の日射熱取得と室温、熱負荷について検討する方法について考えていく。なお、樹木や隣棟建物が室内熱環境に及ぼす影響としては、通風などの風通しの変化や、樹木や隣棟建物によって生じる気温分布等の影響も想定できるが、本研究では樹木等の建築外部空間の空間形態に起因する日射遮蔽が建築外部空間の熱放射環境と室温に及ぼす影響に着目する。

（２）ダイレクトゲインシステムに関する既往研究

ダイレクトゲインシステムは冬季に日射熱を開口部から取得し、蓄熱部位に蓄えることで日射のない夜間や早朝の室温を改善する手法であることから最も直接的な熱利用の形態である。特に日本では比較的緯度が低く、床面でも集熱が期待できること、一般に日本の住宅においては居間の南側に開口部を設ける志向が強いことから採用例が多い。また、ダイレクトゲインシステムは大面積の開口部を有することから、熱環境以外の視点からも建築外部空間に対して開放的なデザインとして有効である。一方でダイレクトゲインシステムの短所としては日本の木造住宅のような熱的に軽量の建物においては十分な蓄熱性能を得ることが難しいこと、曇天日や夜間、日射量の安定しない状況では十分な室温が得られないことが挙げられる。

ダイレクトゲインシステムに関する既往研究は1970年頃に米国を中心にダイレクトゲインシステム等のそれぞれのパッシブソーラーシステムに関する実測が行われ数値シミュレーションや各システムの性能の比較など数多くの研究がなされている^{1-3),1-4)}。

わが国では1980年ごろから基本的な性能の把握が行われ、その後さらなるシステムの改良や数値解析手法の開発、改良が試みられている。ダイレクトゲインシステムの性能については地域の気候特性、集熱条件、断熱条件、蓄熱条件、夏季の日射遮蔽との両立の視点から性能の把握が行われている。

基礎的な性能の把握として長谷川ら¹⁻⁵⁾は実大の試験家屋を用いて蓄熱部位の配置、厚さ、日射反射率といった蓄熱条件の違いが室温変動に及ぼす影響を明らかにしている。同様に、伊藤ら¹⁻⁷⁾はテストセルを用いた実測から数日単位の蓄熱量の時刻履歴が室温や補助暖房量に及ぼす影響を明らかにしている。

さらに、先に示したダイレクトゲインシステムの短所を補う技術としては潜熱蓄熱材や補助設備との併用が挙げられ、木質の内装建材と一体化したもの（佐藤ら¹⁻⁸⁾）、カプセルを利用したもの（Schossigら¹⁻⁹⁾、Tardieu¹⁻¹⁰⁾）等、材質、建材との統合の方法を考慮した様々な種類の蓄熱材が現在も開発されている。

また、補助設備としては、床暖房との併用が挙げられ、放射による熱的快適性の向上が期待できるシステムとして採用例が多く、小玉ら¹⁻¹¹⁾のように既往研究でも性能の予測が行われている。また、前ら¹⁻¹²⁾のように潜熱蓄熱材と床暖房を併用し、蓄熱状況に応じて暖房の稼働を制御するハイブリッド型のシステムも提案されている。

このようなダイレクトゲインシステムの性能把握に関する既往研究は室内の熱環境の改善の視点から位置づけられてきたが、日本のような市街地への適用の視点からダイレクトゲインシステムを位置づけた場合、冬季には隣棟建物と樹木の日射遮蔽の影響により室温

が低下し、夏季には室内に入射する日射を遮蔽する対策が必要である等、建築外部空間との関係は無視することはできない。

隣棟建物や樹木が室内の熱環境に及ぼす例としてはEschaら¹⁻¹³⁾が路地の向きと隣棟建物の形状がパッシブソーラーシステムの日射熱取得に及ぼす影響を、Rempelら¹⁻¹⁴⁾が付設温室型のパッシブソーラーハウスにおいて樹木の影響を考慮した室温の予測を行っている。

しかしながら、これらの手法では隣棟建物や樹木が室内の熱環境に及ぼす影響を示すものであり、居間と連続し、生活空間の延長と位置づけられる建築外部空間の熱環境について検討されている事例はみられない。

そこで本研究ではダイレクトゲインシステムの周りの建築外部空間を活用し、隣棟建物や樹木の日射遮蔽の影響を考慮しながら開口部や、蓄熱部位を工夫することにより、夏季の熱環境を室内熱環境の改善に活かしつつ、冬季は十分日射を取得する計画のためのダイレクトゲインシステムの性能予測方法について考える。

1-3 研究の目的

ダイレクトゲインシステムを導入した住宅において建築内外の熱環境を予測する方法を示し、その方法を市街地の住宅に適用することによって、周囲を建物が建ち並ぶ敷地において、冬季と夏季の両時季の建築内外に快適な熱環境を形成できることを示す。

- (1) 市街地の住宅において建築内外の熱環境に配慮した設計を行うための課題として、実際の市街地を対象とした数値解析を行い冬季のダイレクトゲインシステムの性能への影響と夏季の建築外部空間の熱放射環境の現状を明らかにする。
- (2) 数値解析によるダイレクトゲインシステムの性能予測のための要件と既往研究における課題を示し、建築外部空間の熱放射環境の予測を行いながらダイレクトゲインシステムの性能を予測する方法を示す。
- (3) (2) で示した性能予測方法の誤差要因に関する感度解析として室内に透過した直達日射の解析における空間分解能が解析結果に及ぼす影響を確認する。さらにダイレクトゲインシステムの性能予測に影響の大きい建築内外の設計要素を取り上げ、そのダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響を示すことにより (2) で示した性能予測方法の有効性を示す。
- (4) 隣棟建物、樹木、屋外構造物が混在する対象市街地においてダイレクトゲインシステムを導入した住宅の提案を通じて、(2) で示した性能予測方法により提案の建築内外の熱環境を予測し、ダイレクトゲインシステムを導入した住宅の建築内外において冬季と夏季に良好な熱環境を形成できることを明らかにする。

1-4 本研究の構成

本研究の全体の概要を図 1-1 に示す。本論文は序論と結論を含め全 6 章から構成される。各章の構成は次の通りである。

第 2 章「市街地の屋外熱環境の現状とダイレクトゲインシステムの導入可能性の分析」では市街地の住宅において建築内外の熱環境に配慮した設計を行うための課題として、実際の市街地における冬季と夏季における熱放射環境を数値解析により分析する。まず、冬季における室温の改善の視点から、対象市街地内の隣棟建物による日射遮蔽が冬季の日射熱取得に及ぼす影響を示し開口部の配置の検討を行う。さらに、開口部の配置が想定される箇所における夏季の建築外部空間の熱放射環境を分析し、課題を明らかにする。

第 3 章「建築外部空間の熱収支シミュレーションと連係したダイレクトゲインシステムの性能予測方法」では第 2 章で提示されたダイレクトゲインシステム導入のための課題と、数値解析によるダイレクトゲインシステムの性能予測のための要件から既往研究における課題を示したうえで、建築外部空間の熱放射環境の予測を行いながらダイレクトゲインシステムの性能を予測する方法を示す。

第 4 章「建築内外の設計要素がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響の解析」では第 3 章で提案した数値解析方法についての有用性を示すために、示した方法に存在する誤差要因を示したうえでその解析結果への影響を確認する。さらにダイレクトゲインシステムの性能予測において影響の大きい建築内外の設計要素を示したうえで、建築外部空間による日射遮蔽を受ける場合における蓄熱部位の配置がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響を示す。

第 5 章「市街地におけるダイレクトゲインシステムを導入した住宅の提案と建築内外の熱環境の予測・評価」では対象市街地におけるダイレクトゲインシステムを導入した住宅の提案を通じて本研究で示した性能予測方法を用いて住宅の設計要素や樹木の配置の検討が行えることを示す。また、第 2 章で整理した課題と既往研究に基づき、住宅へのダイレクトゲインシステムの導入において樹木と開口部、蓄熱部位の配置の異なる複数の案を提案し、現状分析に基づいた樹木、開口部、蓄熱部位の配置が建築内外において冬季と夏季に良好な熱環境の形成に有効であることを明らかにする。

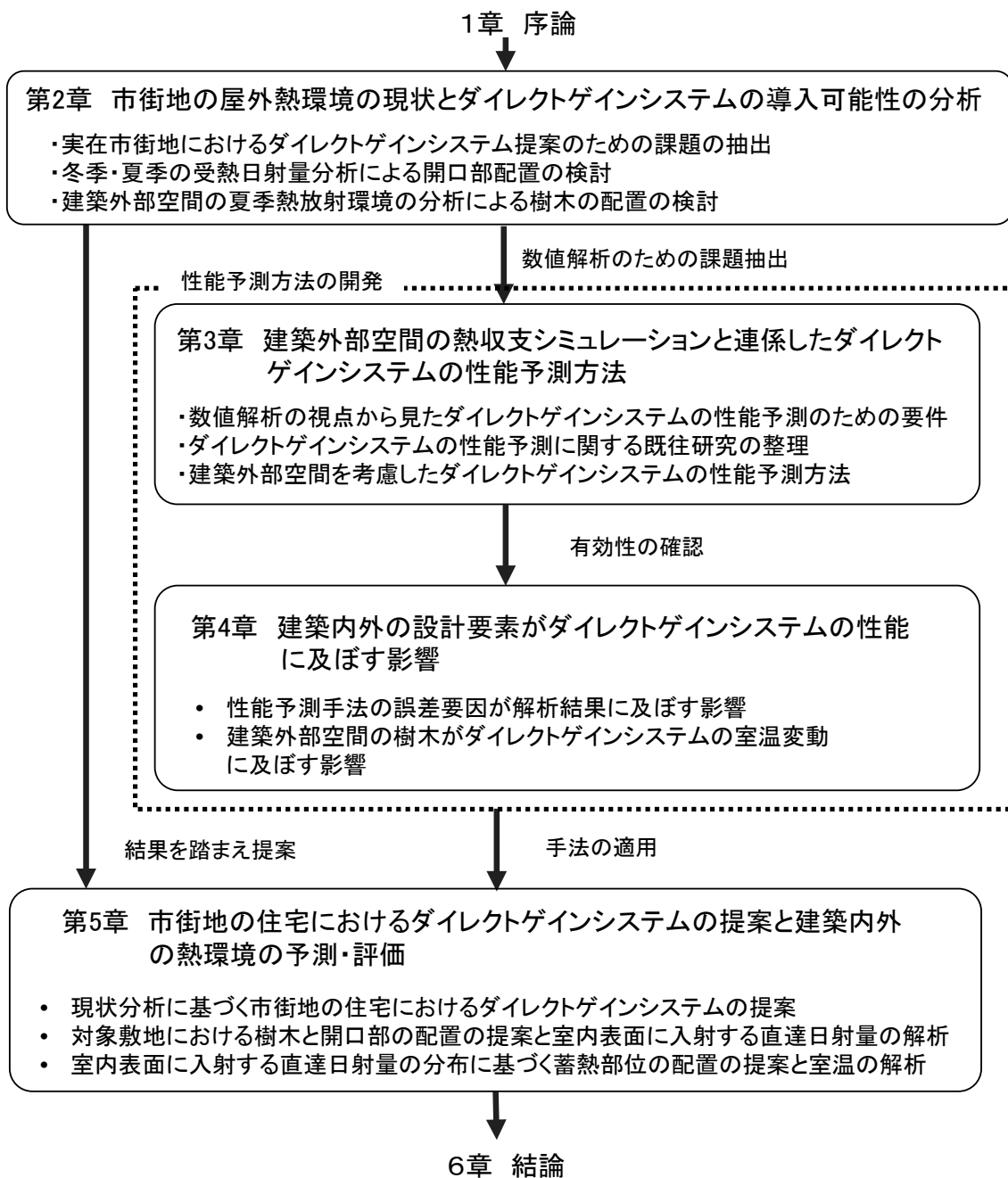


図 1-1 本研究の構成

参考文献

- 1-1) 小玉祐一郎：環境共生住宅における内と外の関係，ランドスケープ研究Vol.74, No.3, pp.185-187, 2011.12
- 1-2) PLEA2012 “Towards an environmentally responsible architecture” : Proceedings of PLEA2012, 2012.11
- 1-3) 田中俊六，武田仁，岩田利枝，土屋喬夫，寺尾道仁：最新建築環境工学改訂第3版，井上書院，2006
- 1-4) J.D. Balcomb, J.C.Hedstrom and R.D. McFarland: Simulation analysis of passive solar heated buildings – preliminary results, Solar Energy, Vol.19,pp.277-282. 1977
- 1-5) D.P. Grimmer, R.D. McFarland and J.D. Balcomb: Initial experimental tests on the use of small passive solar test boxes to model the thermal performance of passively solar heated building designs, Solar Energy, Vol.22,pp.351-354. 1978
- 1-6) 長谷川房雄，木村建一，吉野博，石川善美，松本博，鈴木良一：パッシブソーラーシステム試験家屋を用いた各種直接熱取得方式の熱的性能に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文報告集，No.373, 21-28, 1987.3
- 1-7) 伊藤直明，須永修通：ダイレクトゲインシステムにおける補助暖房量と蓄熱部位の熱挙動に関する実験的研究—室内気候調整における熱容量に関する研究(1)—，日本建築学会計画系論文報告集，No.377, 1-8, 1987.7
- 1-8) 佐藤友紀，尾崎明仁：潜熱蓄熱内装建材による暖房負荷の削減効果に関する研究：模型箱実験・試験家屋実験および数値シミュレーションによる検討，日本建築学会環境系論文集，No.678, 651-659, 2012.08
- 1-9) P. Schossig, H.M.Henning, S.Gshwander, T.Hausman: Micro-encapsulated phase change materials integrated into construction materials, Solar Energy materials and solar vcells No.89, pp.297-306 ,2005
- 1-10) A. Tardieu, S. Behzadi, J.J.J. Chen, M.M. Farid, Computer simulation and experimental measurements for an experimental PCM-impregnated office building, in: Proceedings of Building Simulation 2011, Sydney, Australia, 2011.
- 1-11) 小玉祐一郎、武政孝治：パッシブソーラーシステムの暖房特性の検討 ダイレクトゲインシステムにおける床暖房特性、日本建築学会学術講演梗概集、pp.573-574,2004
- 1-12) 金秀耿，河野良坪，佐藤誠，金田一清香，赤嶺嘉彦，前真之，坂本雄三：日射ダイレクトゲインとヒートポンプを利用した蓄熱式床暖房システムの省エネルギー性能（第

- 1 報) 実験システムの紹介と取得日射量の検証, 日本建築学会環境系論文集, No660, pp.169-176, 2011.2
- 1-13) M.M.E. van Escha, R.H.J. Loomana, G.J. de Bruin-Hordijka: The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies, Energy and Buildings No.47, 2012
- 1-14) Alexandra Rempel, Alan Rempel, Katharine Cashman, Ken Gates, Catherine Page, Barbara Shaw: Interpretation of passive solar field data with Energyplus models: Un-conventional wisdom from four sunspaces in Eugene, Oregon, Building and Environment No.60, pp.158-172, 2013
- 1-15) 例えば, 清水敬示: 季節と寄り添う居を構える, 創樹社, pp.136, 164, 2011
- 1-16) 例えば, 新建築社: MINAGARDEN十日市場, 新建築 Vol.87, No.13, pp.73-81, 2012.8
- 1-17) 浅輪貴史, 梅干野晃, 武澤秀幸, 清水敬示: 緑の茂った戸建住宅地の屋外空間に形成される夏季の微気候に関する実測調査, 屋外空間の微気候と居住者の開放的な住まい方との関わりに関する研究 その1 日本建築学会環境系論文集 第563号 77-84, 2003.1
- 1-18) 浅輪貴史: 建築内外の微気候実態と居住者意識から見た開放的な住まい方の特徴, 屋外空間の微気候と居住者の開放的な住まい方との関わりに関する研究 その3 日本建築学会環境系論文集 第623号 115-122, 2008.1
- 1-19) 吉田伸治, 村上周三, 大岡龍三, 持田灯他: 対流・放射・湿気輸送を連成した屋外環境解析に基づく緑化の効果の分析, 日本建築学会計画系論文集, No.529, pp.74-77, 2000.3
- 1-20) 梅干野晃, 浅輪貴史, 中大窪千晶: 3D-CADと屋外熱環境シミュレーションを一体化した環境設計ツール 日本建築学会技術報告集 第20号, pp.195-198, 2004.12

第2章 市街地の屋外熱環境の現状とダイレクトゲインシステムの導入可能性の分析

- 2-1 はじめに
- 2-2 市街地の住宅へのダイレクトゲインシステム導入のための設計条件
- 2-3 検討対象の市街地の概要
- 2-4 対象市街地における現状分析の方法
 - 2-4-1 対象市街地におけるダイレクトゲインシステム導入のための課題
 - 2-4-2 解析対象敷地の概要と特徴
 - 2-4-3 解析で用いる数値シミュレーションモデル
 - 2-4-4 解析条件
- 2-5 冬季における市街地の受熱日射量の分析による開口部の配置の検討
- 2-6 夏季における市街地の受熱日射量の分析による開口部の配置の検討
- 2-7 夏季における建築外部空間の熱放射環境の分析による樹木の配置の検討
- 2-8 まとめ

2-1 はじめに

市街地に建つ住宅は多くの建物が敷地境界に合わせて建てられ、敷地境界に塀が設けられる等、「野原の中の一軒家」ではないことから、建築計画、環境の視点において周辺環境に考慮した計画が必要である。中でも、室内熱環境の視点からは、周囲の建物、樹木、屋外構造物の日射遮蔽の影響に考慮し、冬季に十分な日射を得つつも、夏季には開口部に透過する日射を抑制するための対策が必要である。また、建築外部空間に快適な生活空間を形成するためには、周辺建物との関係や建築内外の用途、動線計画といった熱環境以外の視点を考慮しつつ、周囲の地物に囲まれた市街地において熱放射の影響を考慮する必要がある。このような様々な設計条件を考慮しながら市街地の住宅において建築内外の熱環境に配慮した提案を行っていくためには、市街地の街区や対象敷地の特性を把握したうえで、敷地の熱環境を分析し、課題を抽出することが有効であると考えられる。

そこで、本章では市街地の住宅における建築内外の熱環境に配慮した提案を行うための課題として、実在市街地の数値解析により屋外熱環境の現状とダイレクトゲインシステムの導入可能性を分析する。まず市街地の住宅にダイレクトゲインシステムの導入するうえで考慮すべき設計条件を整理する。つぎに、ダイレクトゲインシステムの導入可能性が期待でき、夏季の建築外部空間の熱放射環境の改善が求められている地方中心都市の実在市街地において建築外部空間の熱放射環境を数値解析により分析する。現状分析では対象市街地内の典型的な敷地を抽出し、それぞれの敷地と周囲の空間形態や材料の違いが冬季・夏季の建築外部空間の熱放射環境に及ぼす影響を分析する。本章の分析によって 3 章において建築外部空間の熱放射環境を予測しながらダイレクトゲインシステムの性能を予測するための課題と 5 章で行うダイレクトゲインシステムを導入した住宅を提案するための課題を示す。

2-2 市街地の住宅へのダイレクトゲインシステム導入のための設計条件

ダイレクトゲインシステムでは一般に敷地計画、配置計画により建物の配置を決定し、ダイレクトゲインシステムを適用する居室の平面計画、断面計画によるボリュームの検討を行ったうえで、開口部、蓄熱部位といった集熱条件、蓄熱条件、断熱条件の検討を行うこととなる²⁻¹⁾。よって本研究では、市街地におけるダイレクトゲインシステムの導入に当たり、ダイレクトゲインシステムの性能に影響を及ぼす設計条件を既往研究から整理する。

(1) 敷地計画、配置計画

まず敷地計画、配置計画では地域の気候特性を把握し、コントロールすべき気候要素を決定していくこととなる。ダイレクトゲインシステムの室温変動に影響の大きな、地域の気候特性としては、日射量、気温変動が挙げられる。既往研究では長谷川ら²⁻²⁾が秋田、仙台、盛岡の気象条件を用いた数値解析を行い、晴天日が少なく日射性状の不安定な秋田において十分な室温上昇効果が得られないことを示している。また、武政ら²⁻³⁾は首都圏 70km 圏内 32 都市のAMeDAS気象データを用いてパッシブソーラーシステムの評価のための気象データを整備し、ダイレクトゲインシステムを適用した単室の室温変動と熱負荷計算を算出比較しており、比較的近接する都市においても室温に最大で 5℃、建物顕熱負荷に最大で 4 倍程度の違いを生じることを示している。

さらに配置計画については武政ら²⁻⁴⁾が敷地の向きについて、集熱のための開口部の方位がダイレクトゲインシステムの補助暖房量に及ぼす影響を示し、日射量の多い地域において 30 度以上の傾きがある場合において補助暖房量の増加が著しいことを示している。

一方で既往研究では挙げられていないが、市街地におけるダイレクトゲインシステムの導入を考慮した場合、隣棟建物や屋外構造物、樹木との関係は考慮すべき設計条件として挙げられ、特に日射遮蔽の影響はダイレクトゲインシステムの集熱条件に顕著に影響を及ぼすと考えられる。

(2) 平面計画、断面計画

ダイレクトゲインシステムにおいてより高い室温を得るための条件として、室の容積に対して集熱面積をより広くとることが求められる。既往研究では長谷川ら²⁻²⁾のような東西方向と南北方向の比率の異なる室で室温変動の比較、小玉ら²⁻⁵⁾のように吹き抜けのある鉛直方向に細長い室を想定し大面積の開口を想定したモデルでの解析が行われている。また、

隣接する部屋に吹抜けなどがある場合等では室間の熱伝導や換気によって室温が低下することがあり、この点についても考慮が必要な場合がある。

（３）集熱条件，蓄熱条件，断熱条件

集熱条件については先に挙げた集熱のための開口部の方位のほかに，集熱部位の面積が挙げられ，その違いによる室温変動が長谷川ら等の既往研究で明らかにされている。また，宮岡ら²⁻⁶⁾は夏季への対策の視点から庇の出と開口部の面積のバランスについて明らかにしている。

蓄熱条件については蓄熱部位の厚さ，蓄熱部位の表面の材料特性が挙げられる。蓄熱部位の厚さと床，壁，天井の配置と面積の違いが室温変動に及ぼす影響が実測により明らかにされている。特に，床全面にじゅうたんが敷かれたり，フローリング等の仕上げを行った場合ではその比較的低い熱伝導率によって十分な蓄熱効果が得られないことが数値解析や実測により明らかにされている²⁻⁷⁾。

断熱条件においては夜間の熱損失，特に開口部からの熱損失への対策がダイレクトゲインシステムの導入のための条件として既往研究において挙げられている。なお，この点については次世代省エネルギー基準²⁻⁸⁾で開口部等の断熱性能が規定される等断熱性能の向上が研究当時より進んでいる。

以上の点を踏まえ市街地への導入を想定した場合，隣棟建物や樹木からの日射遮蔽が集熱条件にどのように影響するかを事前に把握する必要があり，その結果を踏まえた開口部の検討が求められる。また，蓄熱部位の配置，材料の選定においても室内の日射の照射位置と日射量が隣棟建物など周囲の条件に左右されるため，その考慮が必要といえる。

2-3 検討対象の市街地の概要

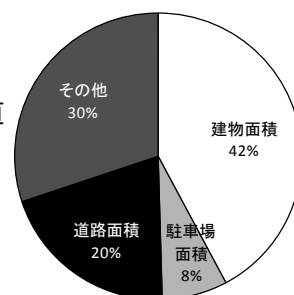
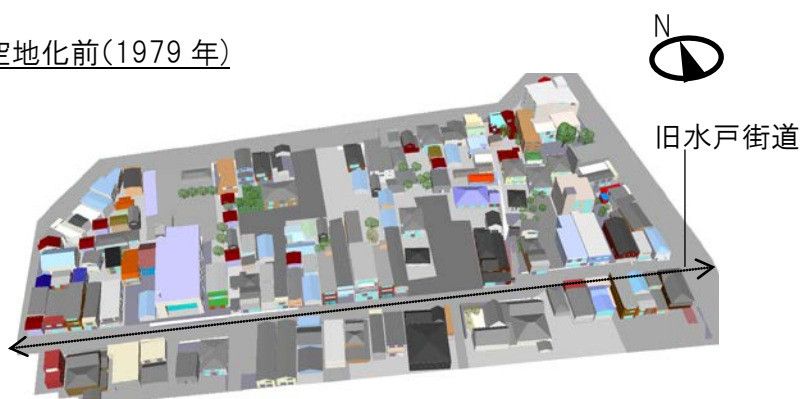
本研究では茨城県土浦市の中心市街地を対象とする。選定の理由としては①隣接敷地に建つ建物からの日射遮蔽の影響が顕著である②冬季の日射熱取得への対策が必要であり、建物の建っていない空地部分の利用度が低い③敷地境界一杯に住宅が建っていることから周囲の建物からの熱放射を受けやすく、夏季の熱放射環境への対策が必要であることが挙げられる。

対象市街地は図 2-1 に示すようにJR土浦駅の北約 1kmに位置しており、対象市街地のある茨城県土浦市の中心市街地は江戸時代から、茨城県の県南地域の中心であり続けたが、1970 年ごろから筑波研究学園都市の整備や郊外への大型ショッピングセンターの出店によって、同時に土浦駅周辺の中心市街地においても百貨店の撤退や空地の増加等が起こっている²⁻⁹⁾。特に、中心市街地における空地化は既往研究においてその実態が明らかにされるなど日本の地方都市において顕著な事象であり^{2-10)~2-12)}、既往文献においても土浦市はその代表的な事例として挙げられ、対象市街地内でも現在は敷地面積の 18%が駐車場となっており空地化が顕著である。

また、対象市街地の北にはかつて土浦城であった亀城公園があり対象市街地の中心には水戸街道が通り城下町、土浦宿の宿場町として機能してきた。図 2-1 に示すように空地化が顕著となる前である 1979年の市街地が示しているように旧水戸街道沿いには南北に細長い敷地が密集しており、そこに、住商併用建物、独立住宅、専用商業施設が敷地境界に合わせて南北に細長いボリュームの建物が密集して建てられていた。しかしながら、現在は空地化が進行し、対象市街地内全域で歯抜け状に建物が空地化しており、南北に細長い空地が形成されている。

以上より、対象市街地では空地化したことで街区の密度が比較的小さくなっており、比較的日射の照射しやすい状況といえる。よって、日射遮蔽の影響を考慮した開口部を配置の工夫によりダイレクトゲインシステムの導入が可能である。しかしながら、対象市街地では敷地境界一杯に隣棟建物が建っていることから周囲の建物からの熱放射の影響を受けやすく、夏季の熱放射環境の改善のために、樹木の配置や土地被覆に工夫が必要である市街地であるといえる。

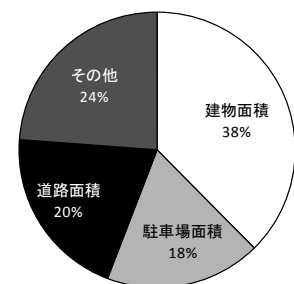
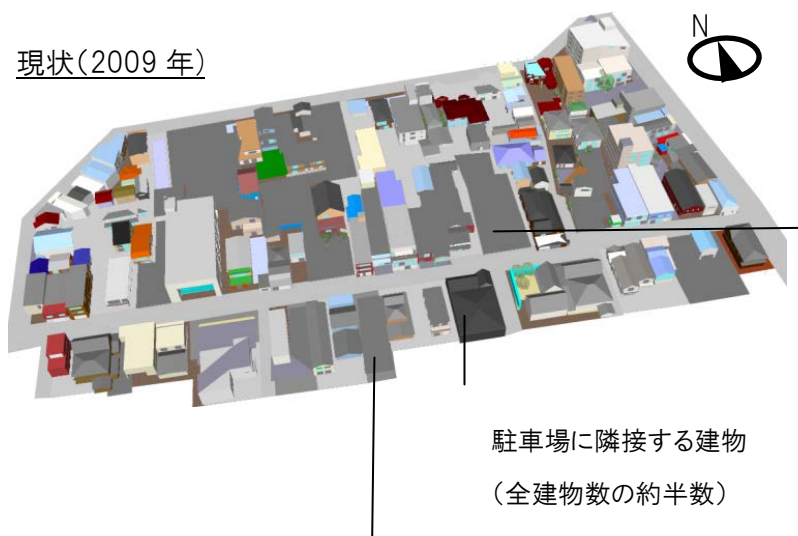
空地化前(1979 年)



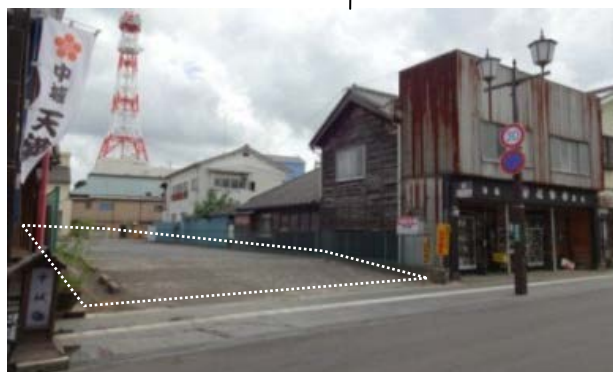
対象市街地における
敷地面積の構成(1979 年)



現状(2009 年)



対象市街地における
敷地面積の構成(2009 年)



空地化により駐車場となった敷地(対象市街地面積の 18%)

図 2-1 対象市街地の概要と空地化による空間形態の変化

2-4 対象市街地における現状分析の方法

2-4-1 対象市街地におけるダイレクトゲインシステム導入のための課題

本章ではダイレクトゲインシステムの導入の視点から、数値解析により対象市街地内にある空地とその隣棟建物における空間形態・構成材料が建築外部空間における夏季、冬季の熱放射環境に及ぼす影響を分析する。現状分析では空地内に住宅等建物を建てダイレクトゲインシステムを導入する場合と、空地を活用し隣棟建物にダイレクトゲインシステムを導入する場合の2つの状況を想定する(図2-2)。

まず、空地内に建物を建てる場合の現状分析として、隣棟建物による日射遮蔽の影響を確認するため、対象市街地の冬季の受熱日射量を算出する。ここで算出するのは空地の水平面の受熱日射量分布であるが、この分布から敷地内におけるダイレクトゲインシステムのための開口部の配置と日射遮蔽の影響が及ぶ範囲を議論する。また、夏季の隣棟建物による熱放射環境への影響を確認するために、表面温度分布と生活空間高さ1.5mの平均放射温度分布を算出する。一方、空地を活用し隣棟建物にダイレクトゲインシステムを導入する場合では、冬季の受熱日射量分布と夏季の表面温度分布と生活空間高さ1.5mの平均放射温度分布を算出する。

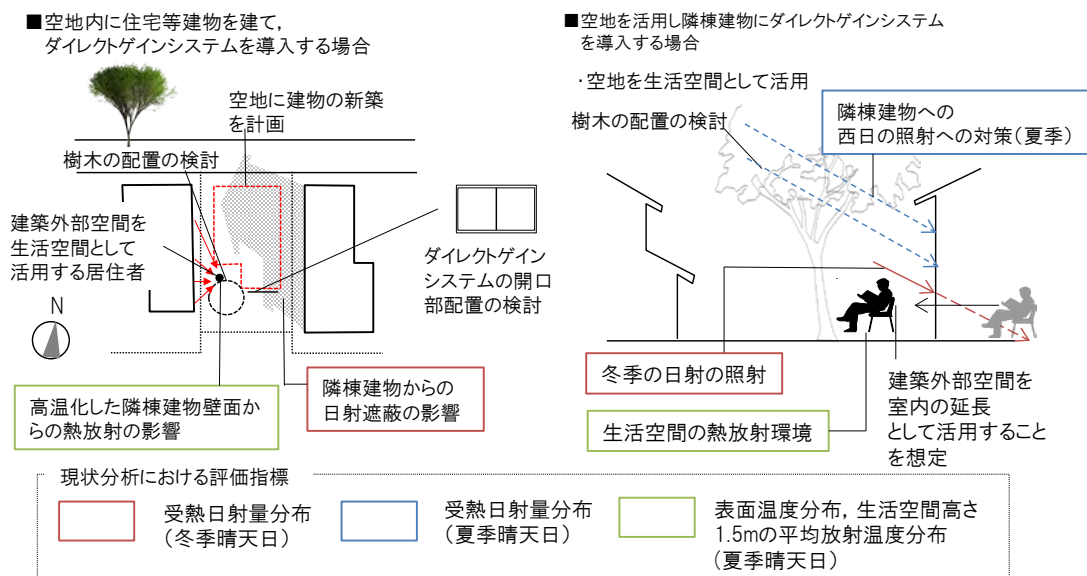


図2-2 現状分析で明らかにする項目

2-4-2 解析対象敷地の概要と特徴

現状分析では対象市街地内の典型的である南北に細長い空地(a)～(d)とその隣棟建物を抽出し、それぞれの敷地における課題を示す。図 2-3 に各敷地の 3D-CADモデルを示す。

まず、対象市街地に生じた空地の空間形態、構成材料の特徴として、抽出した敷地のすべては駐車場として利用されていることから土地被覆がアスファルト舗装であり、どの敷地も旧水戸街道に沿って敷地の向きが北から西に約 15 度傾いている。駐車場の敷地形状の特徴としては、旧水戸街道沿いの建物が消失することによって生じた空地(b)、(c)や、敷地(d)のように隣棟建物の高さの大きいもの、敷地(a)のように以前から 30 年以上駐車場である敷地で面積の大きなものが見られる。また、空地(a)～(c)では明治・大正期の建物が隣接している。

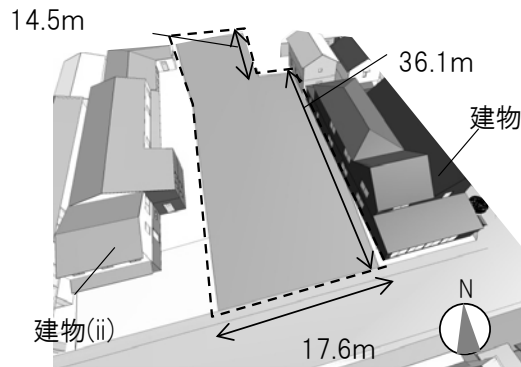
まず、空地(a)は東西に間口の広い (17.6m) ことから隣棟建物に空地化前に比べて日射が照射しやすく、新築でのダイレクトゲインシステムの導入が相対的にしやすいと予想される。しかし、東側の隣棟建物は 2 階建て、南北に約 38m のボリュームで敷地境界一杯に建っていることから、冬季の日射遮蔽への影響について明らかにする必要がある。また、空地(a)を建築外部空間として活用する場合、壁面に日射が照射することによる熱放射環境への影響を把握することが求められる。

空地(b)(c)は敷地東西の間口が 9.4m と空地(a)に比べて小さいことから、隣棟建物から空地への日射遮蔽の影響は大きいと考えられ、この間口の違いは冬季の受熱日射量と夏季の熱放射環境に影響すると考えられる。ただし、空地(a)とは異なり隣接建物のボリュームがやや小さく、南側のボリュームは 1 階となっている。

また、空地(d)は東側に 4 階建ての RC 造の建物が建っており冬季の日射遮蔽の影響が大きいと考えられる。また夏季の西日によって隣棟の壁面が高温化し、熱放射環境への影響が顕著となることも予想される。

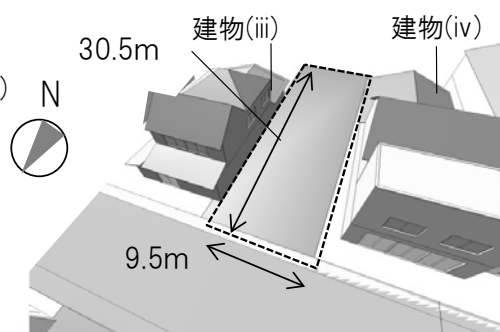
本章では以上の点に着目しつつ、空地内に住宅等建物を建てダイレクトゲインシステムを導入する場合、空地を活用し隣棟建物にダイレクトゲインシステムを導入する場合の 2 つの視点から数値解析を行う。

空地(a)



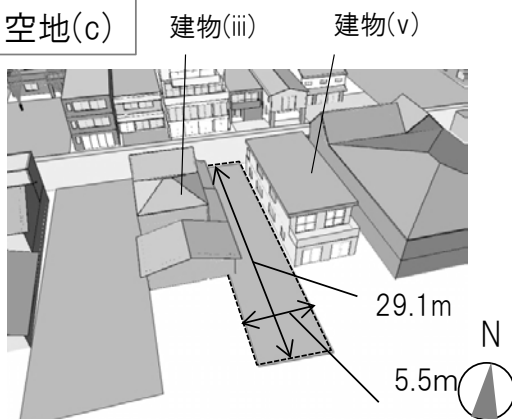
- 南北に細長い敷地で駐車場として利用
- 間口が比較的広く(17.6m), 敷地面積が大きい
- 東西の隣棟建物への受熱日射量の増加が顕著

空地(b)



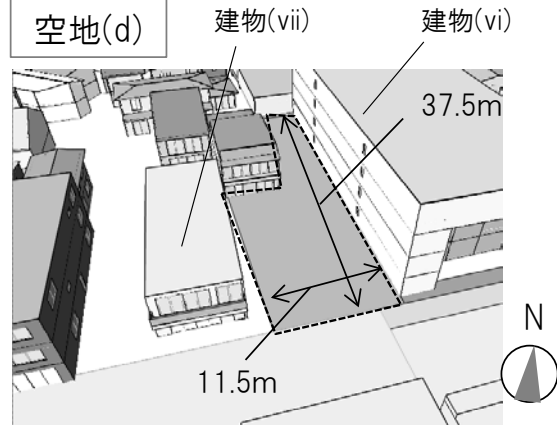
- 南北に細長い敷地で駐車場として利用
- 間口が比較的狭い(9.4m)
- 隣棟建物は住商併用建物であることから北側(道路側)は2階, 南側は1階建てとなっている
- 空地化により東西の隣棟建物への受熱日射量の増加が顕著となっている

空地(c)



- 南北に細長い敷地で駐車場として利用
- 間口が狭い(5m)
- 空地化により東西の隣棟建物への受熱日射量の増加

空地(d)



- 南北に細長い敷地で駐車場として利用
- 東側に4階建てのRC造建物
- 空地化により東西の隣棟建物への受熱日射量の増加
- 高温化する4階建て壁面からの夏季の熱放射の影響

図 2-3 解析対象敷地の概要と熱環境の視点から見た検討項目

2-4-3 解析で用いる数値シミュレーションモデル

本章では市街地内の空地と周囲の建物の具体的な空間形態、配置、構成材料が冬季の日射熱取得、夏季の熱放射環境に及ぼす影響を示すために、3D CADを用いて建物・地面・緑を再現し（図 2-4）、構成要素の断面仕様とその熱物性値を付加することで計算用の街区モデルを作成する。さらに梅干野・浅輪ら¹⁻¹⁸⁾の熱収支計算により全ての面の受熱日射量分布、表面温度分布と生活空間高さ 1.5mの平均放射温度分布を算出する。

(a) CAD形状モデルの作成

梅干野らは既往研究にて、東京都内の約 26haの实在市街地を対象として、空間形態や構成材料を 3D CADにより再現するために、窓面やベランダ等を含む空間形態及び構成材料データを収集・整備する手法を示し、その熱環境の特徴を明らかにしている²⁻¹⁴⁾。本研究においては、本手法をベースとして、一部入手困難なデータを現地調査により補うことでデータを収集・整備する。また再現精度は、建物の凹凸等の空間形態や構成材料の分布が屋外熱環境や建物熱負荷に与える影響を検討できるサイズとして、0.2mとした。

図 2(a)に現在の空間形態・構成材料のデータ収集方法を示す。まず整備済の情報として、1/2500 都市計画基本図GISデータ、1/5000 デジタルオルソ航空写真²⁻¹⁵⁾、1972 年～2008 年の約 10 年ごとの住宅地図²⁻¹⁶⁾を入手した。ただし土浦市においては、東京都都市計画GISデータとは異なり、建物用途等の属性データが付加されていない。そこで、不足データである建物階数、階毎の用途、建物構造を現地調査から取得した。また、伝統的建造物群保存調査²⁻¹⁷⁾において調査済の建物・地面・緑については、本報告書に記載されている敷地図面と航空写真を参考に、空間形態及び構成材料を決定した。建物高さ及び樹高は簡易式レーザ距離計（NIKON社製,550AS,高さ精度±0.2m）による実測データを基に設定した。構成材料データは、建物用途、竣工年代等に基づく既往研究の構成材料データベース²⁻¹⁴⁾を一部修正し、設定した。また地面、緑に関しても既往研究²⁻¹⁴⁾と同様の手法により設定した。

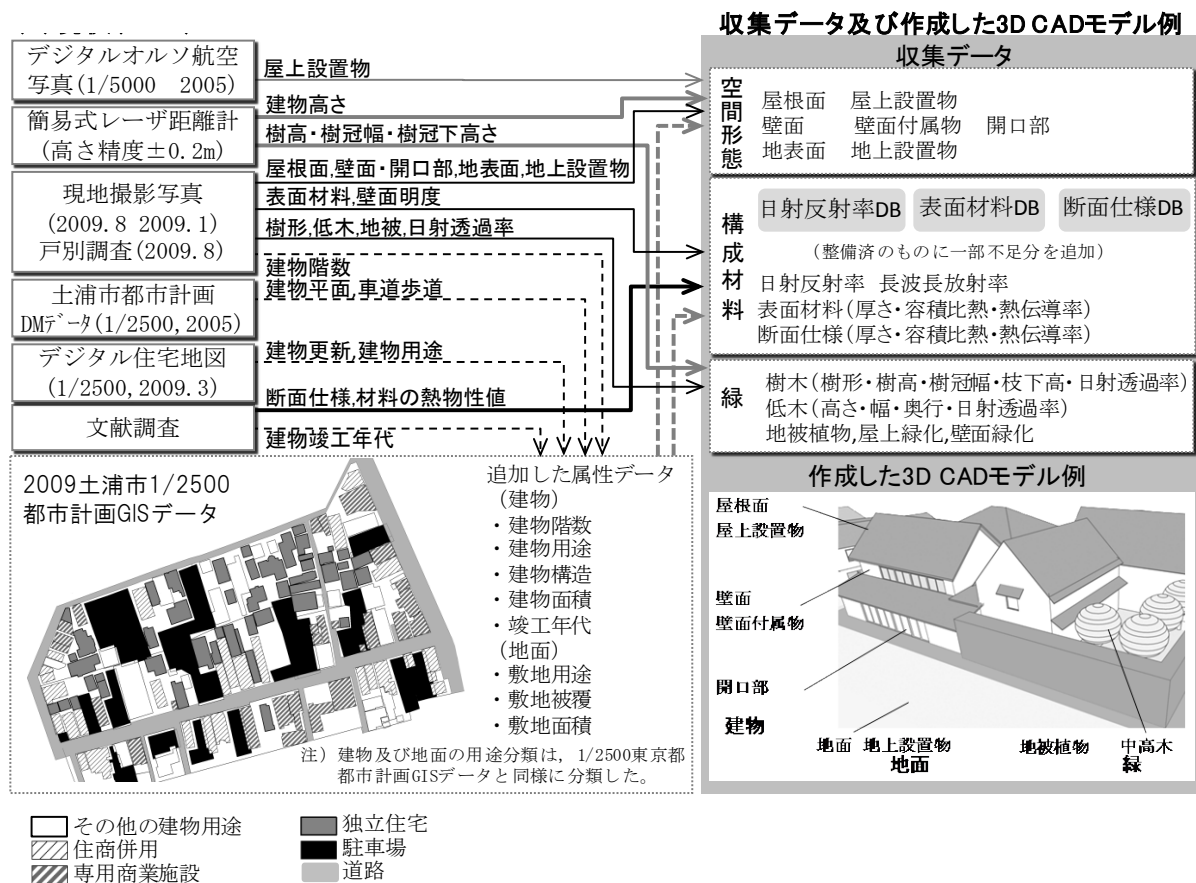


図 2-4 対象市街地における 3D-CAD モデル作成方法

(b) 熱収支シミュレーション

使用する数値シミュレーションツールでは、3次元の形状を再現した建物と緑及び2次元の地表面の全表面をメッシュ分割（本研究では0.2m）し、各メッシュの質点において、表面の熱収支計算（直達日射、天空日射、反射日射、大気放射、周辺地物との長波長放射の授受、対流熱伝達、潜熱輸送）と各面断面方向の一次元非定常熱伝導計算を行い（図2-5）、全表面温度分布、生活空間の熱的快適性に関する評価指標として、生活空間高さの平均放射温度(MRT)分布を算出する。平均放射温度分布を以下のように扱い、短波長成分については扱わない。

$$MRT = \sqrt[4]{\sum_{i=1}^N F_i \cdot Ts_i^4} - 273.2$$

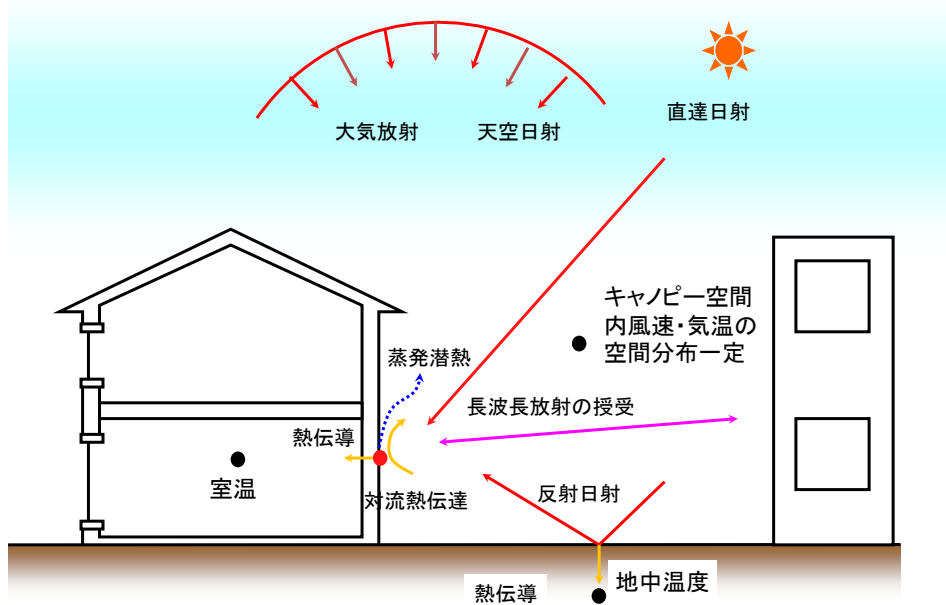
MRT：平均放射温度 [°C]

F_i ：解析メッシュから微小面への形態係数 [—]

Ts_i ：微小面の表面温度 [K]

N：参照する微小面の総数

なお、外表面温度計算の際の建物内部の境界条件である室温、地中温度、樹冠表面温度の算出方法は既往研究¹⁻¹⁸⁾と同様の方法を用いる。計算では、対象街区の周囲に隣接する建物を街区内の熱収支計算に影響を及ぼす境界条件として計算範囲に含めた。



$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial X} = a_{su} (\cos \theta \cdot I_{DR} + \Phi_{sky} I_{SR} + I_{RR})$$

伝導熱量 受熱日射量(直達、天空、周囲からの反射)

$$+ \varepsilon_s \Phi_{sky} \sigma T_a^4 (a + b\sqrt{e}) + \varepsilon_s \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \Phi_i \sigma T_{si}^4 - \varepsilon_s \sigma T_s^4$$

大気放射量

周辺地物との長波長放射の授受量

$$+ \alpha_c (T_a - T_s) + \beta k (X_s - X_a)$$

対流熱伝達量

蒸発潜熱項

q: 熱伝導率[W/m²]

T: 温度[K]

a_{su}: 日射吸収率

θ: 質点の面に対する直達日射入射角[rad]

I_{DR}: 直達日射量[W/m²]

Φ: 形態係数[sky: 天空率]

I_{SR}: 天空日射量[W/m²]

I_{RR}: 周辺地物からの反射日射量[W/m²]

Σ: 長波長放射率

σ: ステファンボルツマン定数[W/m²K⁴]

a, b: Brunt式における定

e: 地表面付近の水上気圧[Pa]

α_c: 対流熱伝達率[W/m²K]

S(下付文字): 表面

a(下付文字): 空気

n(下付文字): 長波長放射の授受を計算する周辺地物の数

i(下付文字): 長波長放射の授受を計算する周辺地物の数

β: 蒸発効率

k: 物質移動係数[kg/(m²·s(kg/kg'))]

X_a: 絶対湿度[kg/kg']

X_s: 表面温度T_sの飽和絶対湿度[kg/kg']

図 2-5 現状分析で使用するシミュレーションツールによる表面温度算出の概要

2-4-4 解析条件

気象条件は、日本建築学会拡張アメダス気象データ（2000年版）の標準年気象データの中から、土浦の夏季晴天日(8月7日)、冬季晴天日(2月9日)を設定する(図2-6)。なお夏季の表面温度分布の算出では解析対象日は風速の比較的低い日を解析対象日としており、全表面の対流熱伝達率は一様として仮定した。表面温度の計算は4日間助走計算させ、5日目の結果を周期定常解として採用する。

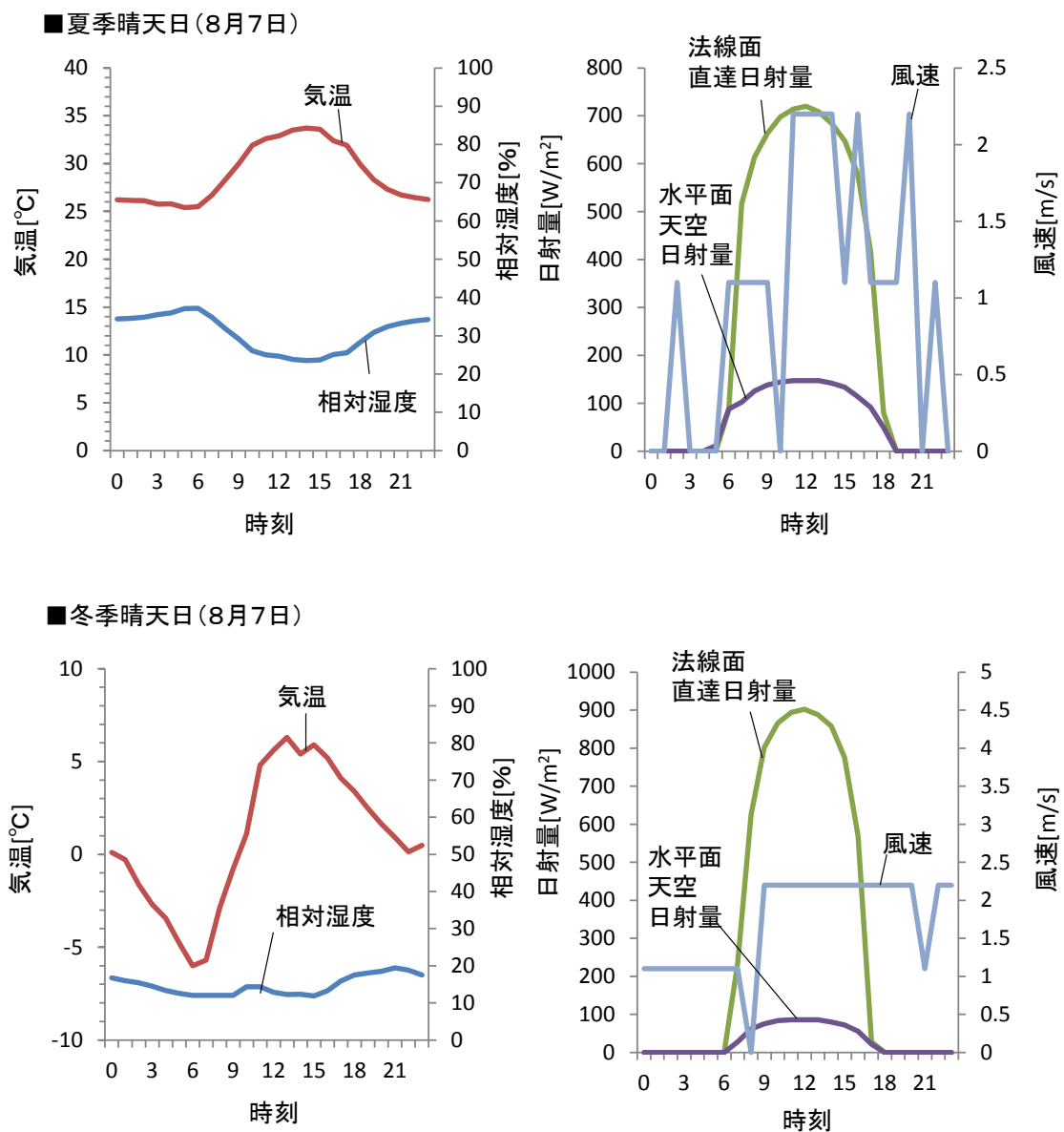


図 2-6 気象条件

2-5 冬季における市街地の受熱日射量の分析による開口部の配置の検討

市街地におけるダイレクトゲインシステムの導入について冬季の日射熱取得の可能性を示すために空地内に住宅等建物を建てダイレクトゲインシステムを導入する場合、空地を活用し、隣棟建物にダイレクトゲインシステムを導入する場合の 2 つの視点から冬季の受熱日射量分布を示す。

(1) 東西の隣棟建物による日射遮蔽が空地内の冬季の受熱日射量に及ぼす影響

まず、空地内に住宅等建物を建てダイレクトゲインシステムを導入する場合を想定し、空地内における隣棟建物の日射遮蔽の影響を示す。

初めに図 2-7 に空地(a)内の日積算受熱日射量の分布と点(a)-1～(a)-5 の時系列の受熱日射量の変化を示す。空地(a)では空地の南側では周囲の建物の日射遮蔽の影響がほとんどなく、点(a)-1 日積算受熱日射量が $14.1\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 程度となっている。次に点(a)-1 の 5m 北側にある(a)-2 に着目すると、夕方に空地の西側にある建物(ii)の日射遮蔽の影響を受けることから日積算受熱日射量が $1\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 減少する。さらに空地(a)は 4 つの空地の中で東西の間口が最も広いが、点(a)-3 では日積算受熱日射量が空地内の点(a)-2 より $4\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 減少している。特に点(a)-4 では、建物(ii)の形状が空地(a)との敷地境界近くに張り出していることから日射遮蔽の影響がほかの部分に比べて顕著であり、点(a)-2 より $5\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 小さい。一方で点(a)-5 では隣棟建物との距離が点(a)-4 に比べて約 2m 大きいことから受熱日射量に $1\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 程度の違いが生じている。

次に図 2-8 で空地(b), (c)における受熱日射量の分布について示すと、空地(b)は間口が空地(a)に比べて狭いが、隣接する建物(iii), (iv)が南側で 1 階となっており、日射遮蔽の影響が小さくなっていることから空地の南側の点(b)-1 では日積算受熱日射量が $14\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 程度となり、空地(a)の点(a)-2 とほぼ同等の日射量となっている。一方で空地(c)では、間口が 5.5m とさらに小さく東側の建物(v)が敷地境界ぎりぎりに 2 階建てのボリュームを持っていることから、空地(c)の北側の点(c)-1 では $7\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 以下であり、それ以外でも建物が隣接している点(c)-2 の周りでは $10\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 程度となっている。点(c)-3 のように点(a)-2 と同等の時系列変化を示す場所は建物が隣接していないか隣接建物の南壁に近いわずかな部分となっている。

さらに隣接建物の階高が高い事例として空地(d)の受熱日射量を示す図 2-9 に着目する。まず 9 時の受熱日射量に着目すると建物(vi)は 4 階建てであるが敷地の軸が西側に約 15 度傾いていることから、敷地の南側半分は日射遮蔽の影響を受けていない。一方で 15 時の受熱日射量に着目すると、建物(vii)が敷地境界ぎりぎりに 2 階建のボリュームとなっているこ

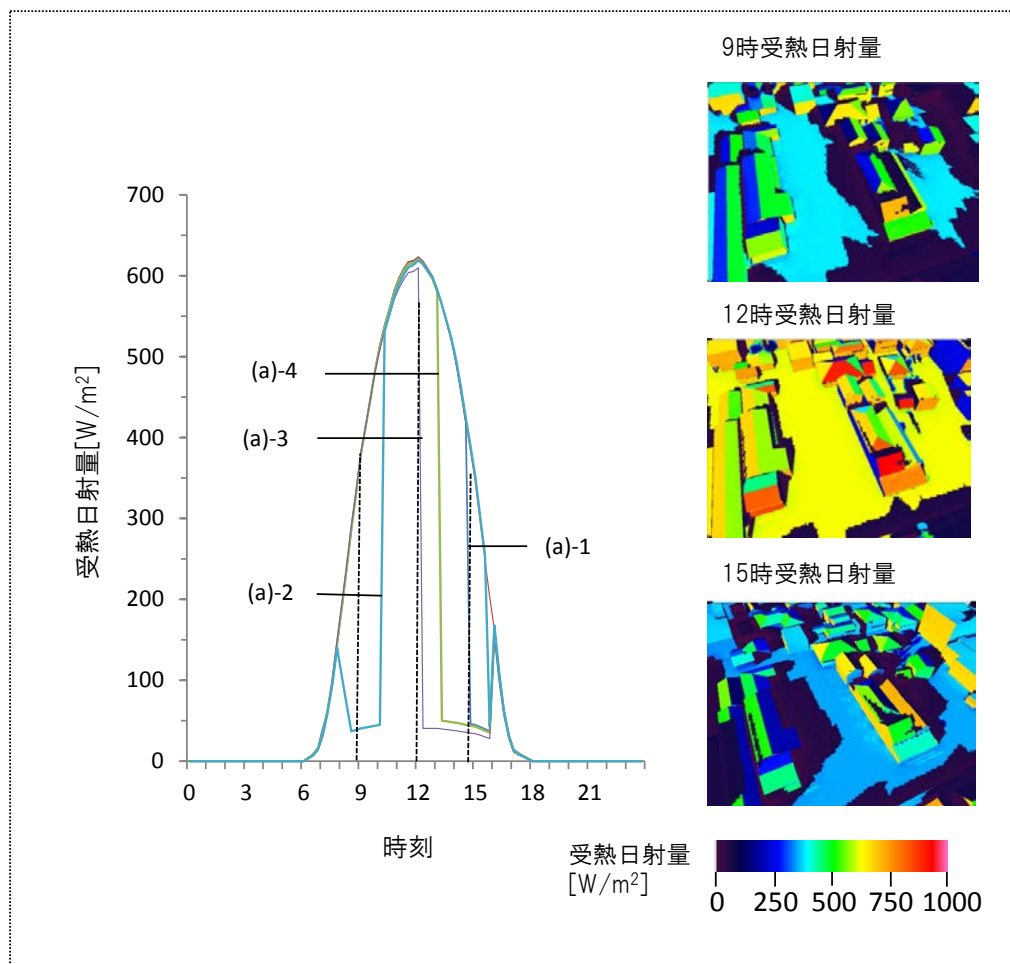
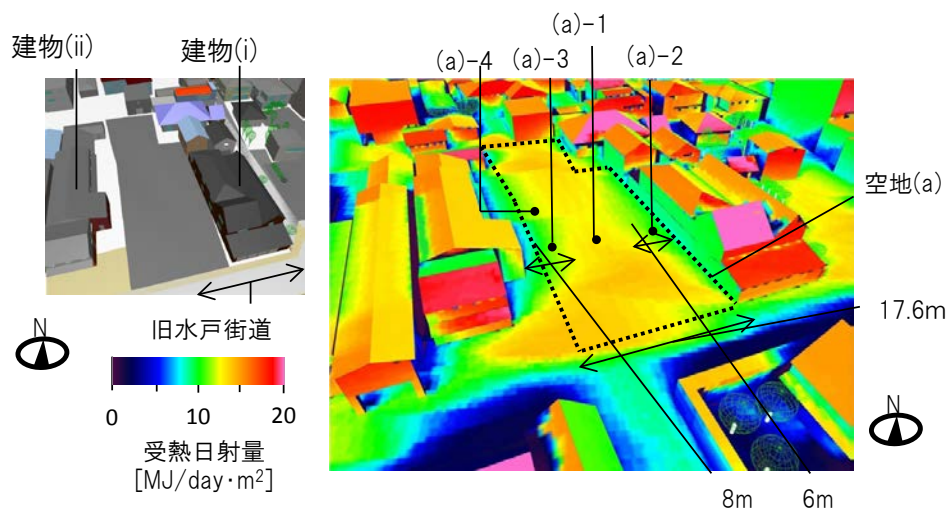


図 2-7 空地 (a) 内における冬季の受熱日射量分布

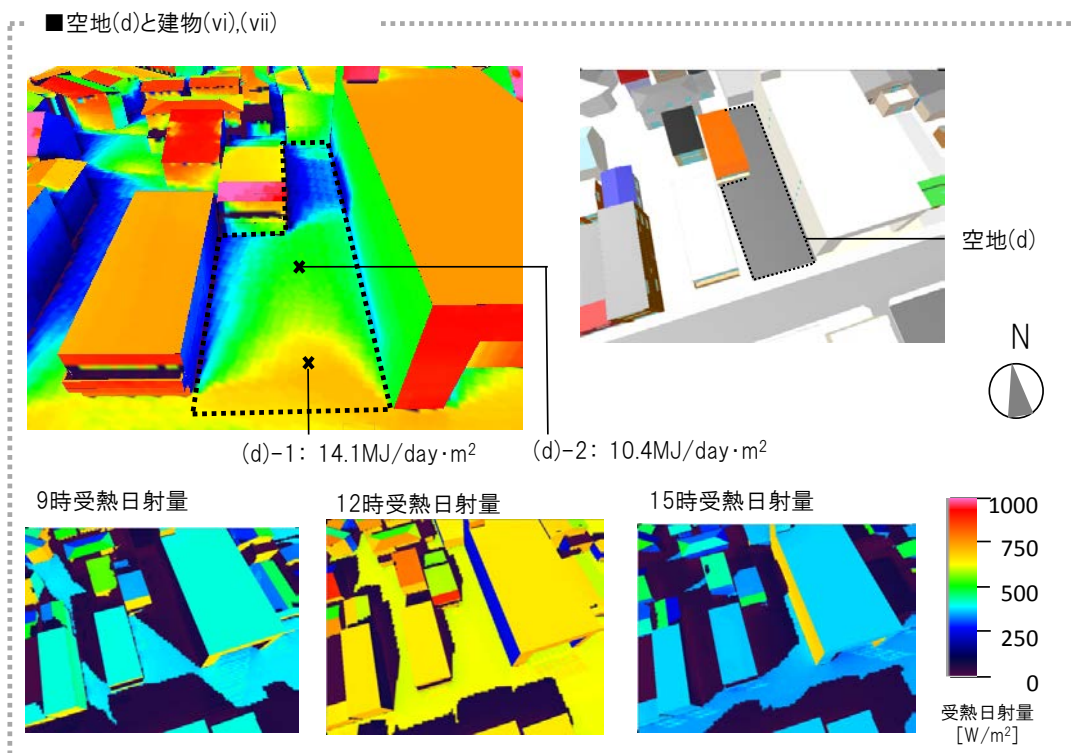
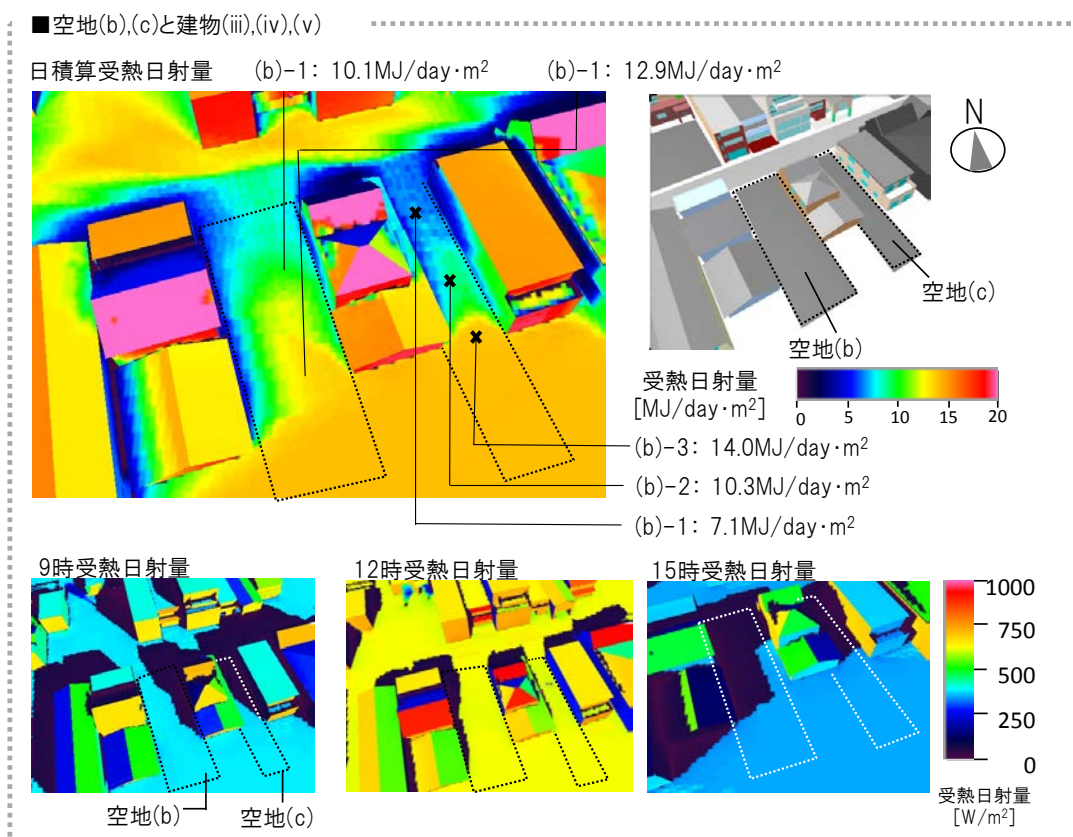


図 2-8 空地 (b), (c), (d) 内における冬季の受熱日射量分布

とから空地のほぼ全域に日射遮蔽の影響が及んでいる。その結果、空地(d)の日積算受熱日射量は南側の一部を除き、 $10\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 前後の分布となっている。

以上から空地(a)では東西の間口が広いが、2階建ての建物が敷地境界近くまで建っていることから日積算受熱日射量が建物(i),(ii)との境界付近6~8mにわたって約3割減少し、建物(ii)の張り出したボリュームによってさらに $1\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 程度の影響が確認できる。空地(b)では隣棟建物の南側が1階建てであることから比較的狭い間口でも空地(a)と同等の日射量が確保できる箇所がみられる。また空地(d)も同様に4階建ての建物が隣接しているが、敷地が日射遮蔽の影響を軽減する向きに傾いていることから敷地の南側で日射遮蔽の影響の少ない箇所がみられる。一方空地(c)のようにさらに間口が狭くなった場合では南側の一部を除き空地(a)の日射の影響がほとんどない場所に比べ3割程度日射量が減少する。

(2) 空地に隣接する建物の受熱日射量の分布

空地に隣接する建物へのダイレクトゲインシステムの導入可能性を示すために図2-9に受熱日射量分布と隣接建物壁面における時系列の受熱日射量を示す。

まず空地(a)に隣接する建物に着目すると、西側の壁面は面積の大きな空地(a)に隣接していることから周囲の建物の日射遮蔽の影響はほとんど受けず、さらに建物のボリュームが西側に傾いているため西日が照射しやすい。その結果、壁面上の点(i)-1の日積算受熱日射量は $8.5\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ であり1階の南側壁面の点(i)-2の56%である。なお、1階南側壁面は朝方に道路を挟んで南側にある建物の日射遮蔽の影響を受けていることから(図2-7、9時受熱日射量分布参照)、受熱日射量が2階の南側壁面より少ない。

次に比較的間口が細く、長さの異なる空地(b),(c)の隣棟建物の受熱日射量に着目すると、空地(b)に隣接する建物(iv)では建物が西側に傾いていることから、東側壁面上の点(iv)-1の日射量は建物(iii)の西側壁面上の点(iii)-1の日積算値75%である。また、西側壁面上の点でも点(iii)-1では1階にかかる屋根の軒により受熱日射量の大きな12時から14時の日射が遮蔽されており、(iii)-2よりも日積算値で22%小さくなっている。この屋根の軒による日射遮蔽の影響は屋根の軒の下で西側壁面の軒から約1.5mの範囲に及び、受熱日射量が減少している。また、空地(c)に隣接した建物(v)の西側壁面では日射が照射しやすく、庇や軒の出がないことから西側壁面の南側で日積算受熱日射量が大きく、空地(a)に隣接する建物(i)と同等の受熱日射量となっている。

また、空地(d)に隣接する建物 (vi) では 4 階建ての建物(vi)からの日射遮蔽の影響を受けること、9 時以降は直達日射量の照射がないことから日積算受熱日射量は 4.4～5.2 MJ/day・m²となる。

以上から、市街地内の建物(i)～(vii)の冬季の受熱日射量を分析した結果、空地に隣接する建物では隣接する敷地が空地化したことにより建物(iii)～(v)のように南側の壁面に十分な日射が得られている。また、市街地内の建物では敷地の向きが西側に 15 度傾いていることにより東側の壁面では西側壁面の 4 分の 3 程度の受熱日射量となっている。西側壁面では主に午後以降日射が照射することにより屋根の軒の日射遮蔽の影響を受ける部分以外では南側壁面の半分程度の日射を得ることが可能である。

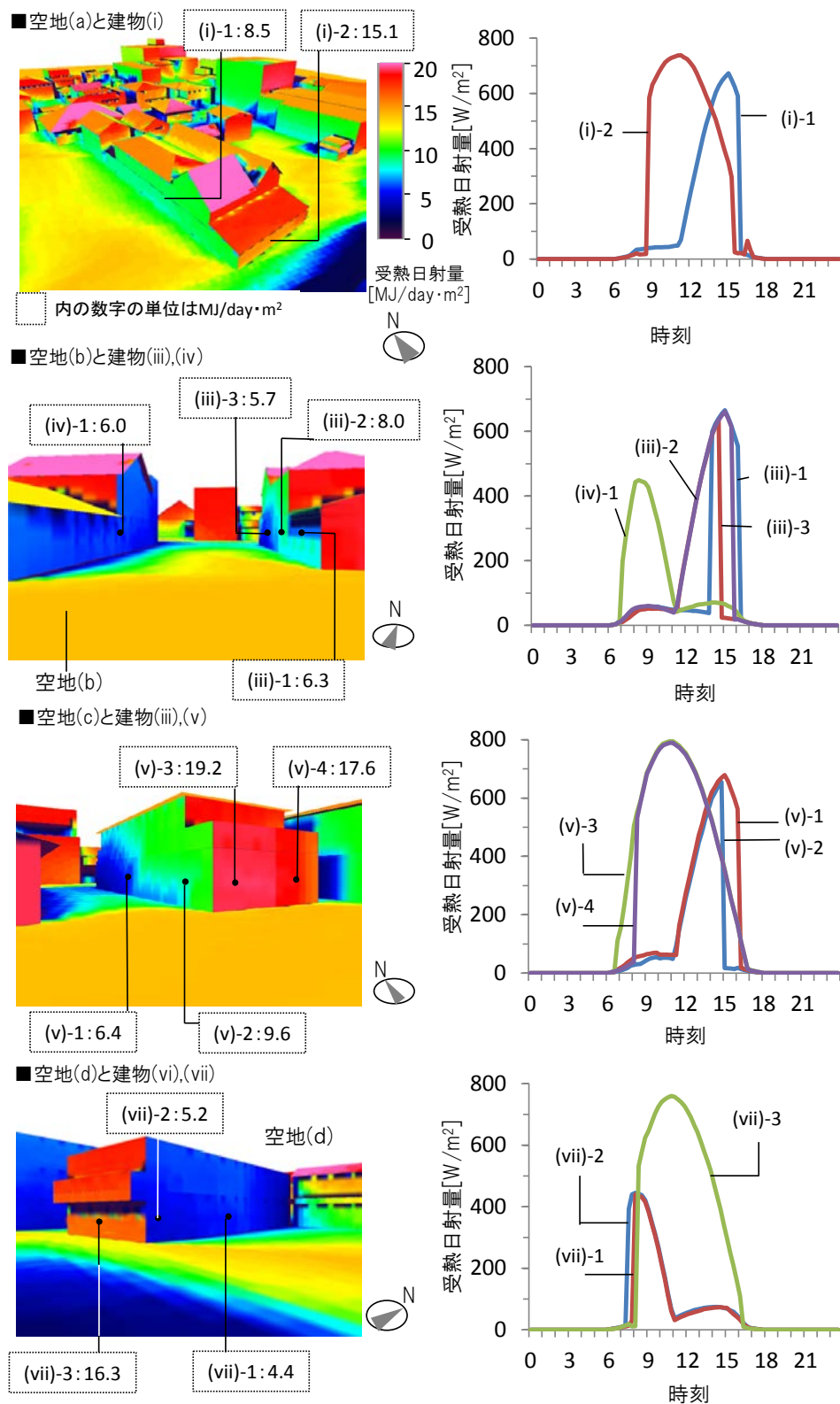


図 2-9 空地に隣接する建物における冬季の受熱日射量

2-6 夏季における市街地の受熱日射量の分析による開口部の配置の検討

隣接敷地に建物がない場合、冬季に日射熱取得が期待できる一方、夏季には西日など日射の照射によって室温の上昇への対策が課題となる。そこで本章ではダイレクトゲインシステムで開口部を設ける場合における夏季の日射の照射への対策を示すために、図 2-10 に夏季の受熱日射量分布と隣接建物壁面上の点における時系列の受熱日射量を示す。

まず、空地(a)に隣接する建物(i)に着目すると、建物西側壁面全域に日射が照射することから壁面上の点(i)-1 では日積算受熱日射量が $10.3\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ であり南側壁面上の点 (i)-2 と比べて約 3 倍となっている。空地(b) に隣接する建物(iii)では、西側壁面上の点(iii)-1, (iii)-2 の日射量が建物(iv)の 2 階部分と建物(iii)自身の屋根の軒による日射遮蔽により受熱日射量が $7.3\sim 7.8\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ となっている。また建物(v)の受熱日射量は空地(c)の間口が小さいため、建物(iii)の日射遮蔽の影響を受け、西側壁面の中央では受熱日射量が小さい一方、南側では大きい。また、建物(v)では東側に建物が密接していることから日射遮蔽の影響を受け、点(v)-4 は点(v)-3 に比べて、受熱日射量が $1.6\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 減少している。なお、建物(v)の西側壁面は軒がなく、建物(iii)の日射遮蔽の影響を受けない部分 (点(v)-2) での日積算受熱日射量は $9.4\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ と建物(i)の西側壁面の日積算受熱日射量と同等である。

さらに、空地(d)に隣接する建物 (vii) については東側壁面のほぼ全面が建物 (vi) の日射遮蔽の影響を受け、 $1.2\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ の差を生じるが壁面が東側であることから空地(a)に隣接する建物(i)の西側壁面に比べると 55%~67%である。

以上から、いずれの建物についても空地に隣接する西側の壁面での受熱日射量が顕著であり、建物が西側に約 15 度傾いていることから冬季と同様に東側の約 1.3 倍となっている。また敷地の向きと解析対象日の太陽高度が比較的低いことから、隣棟や庇の日射遮蔽の影響の及ばない南側壁面で日射量の多い 9 時から 12 時ごろに西側壁面と同程度の日射量となる。よって、空地の隣接建物の西側壁面と南側壁面ではいずれの空地についても夏季に照射する日射への対策が必要である。特に西側壁面では庇や軒による日射遮蔽の影響は小さく、太陽高度の低い西日の照射を遮蔽する遮蔽物の配置が想定される。

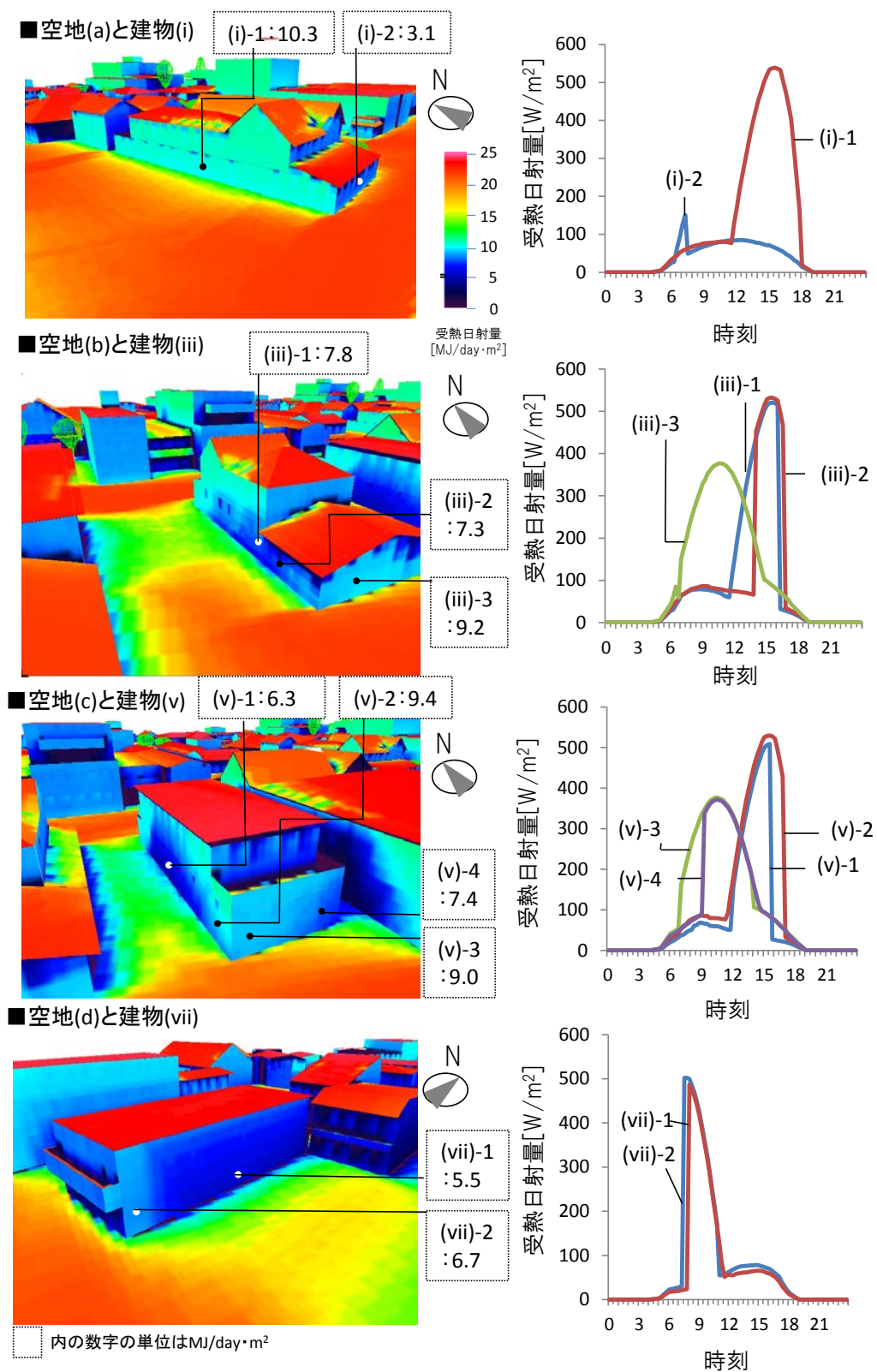


図 2-10 空地に隣接する建物における夏季の受熱日射量

2-7 夏季における建築外部空間の熱放射環境の分析による樹木の配置の検討

建築外部空間を生活空間として活用していく視点から熱放射環境の改善のための分析として建築外部空間の表面温度分布と生活空間高さ 1.5m の平均放射温度分布を図 2-11～2-13 に示す。

(1) 東西の間口が広い空地の熱放射環境

東西の間口が広い空地の熱放射環境として空地(a)に着目する。図 2-11 は空地(a)の 9 時, 12 時, 15 時の表面温度分布と断面X-X'における平均放射温度のプロファイルを示している。まず, 9 時の表面温度に着目すると, 隣接する建物(i)の日射遮蔽により空地の表面温度は気温相当となっているが日射が照射する部分については 40℃を超えている。その結果, 空地(a)内の断面X-X'における平均放射温度のプロファイルに着目すると, 敷地境界から 3m は気温より 1℃高い平均放射温度となっているが, 日射が照射し高温化している舗装面からの形態係数が増加することにより空地の西側半分では平均放射温度が気温より 5℃以上高くなっている。

次に 12 時の表面温度に着目すると, 空地の舗装面のほぼ全域に日射が照射し, 表面温度が 60℃を超えていることから, X-X'内の平均放射温度はほぼ全域で 40℃を超えている。

さらに建物(i)に西日が照射する 15 時に着目すると, 地表面の高温化に加えて建物(i)の西側壁面の表面温度分布が約 50℃となることにより, 空地の東側の平均放射温度は 12 時の値より大きな 40℃～43℃となる。よって, 空地の東半分では 12 時前後の地表面の日射遮蔽の対策をしつつ, 隣接建物の西日の照射を防ぐ対策が求められる。また, 開口部の配置が想定できる空地の中央部では 9 時, 12 時, 15 時共に気温より 5℃以上高い平均放射温度となっている。

■空地(a)と建物(i),(ii)

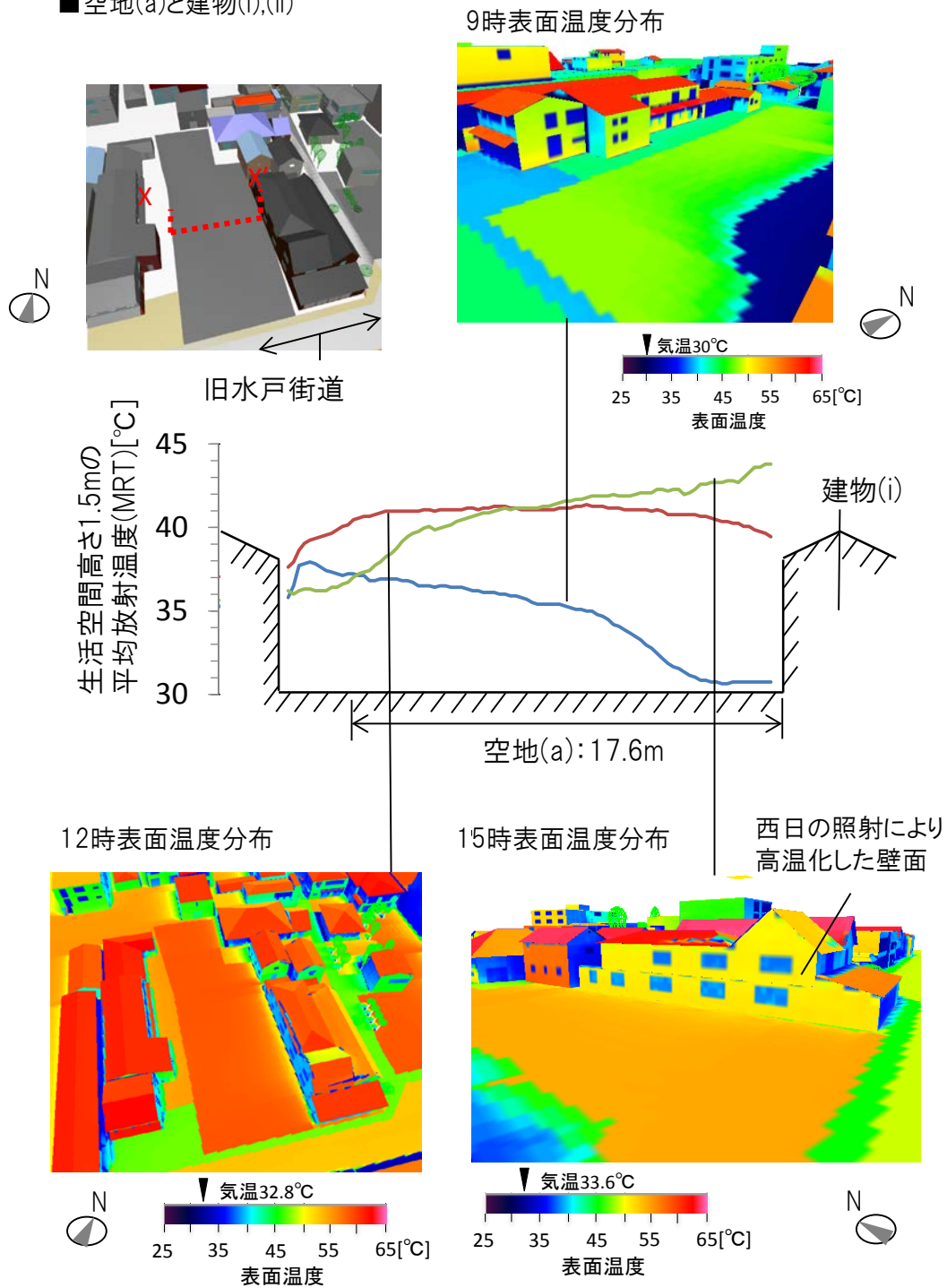


図 2-11 東西の間口が広い空地(a)の表面温度分布と生活空間高さ 1.5m
の平均放射温度

（２）南北に細長く間口の比較的狭い空地における熱放射環境

東西方向の間口が比較的狭く、幅の異なる空地(b), (c)の熱放射環境としてそれぞれの空地の表面温度分布と生活空間高さ 1.5mの平均放射温度を図 2-12 に示す。

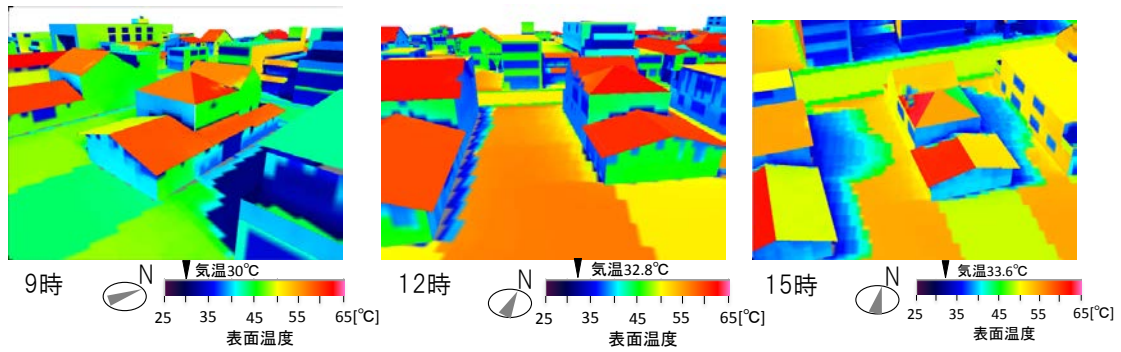
まず、9 時のそれぞれの空地の熱放射環境に着目すると図 2-12[A]に示すように空地(b)では東側から日射が建物(iv)の壁面に照射し高温化すること、空地(b)の地表面も西側半分に日射が照射し、表面温度が 40℃となることから、空地(b)のY-Y'の西側の平均放射温度（図 2-12[C]）は最大で東側より 6℃高くなっている。一方で間口の狭い空地(c)では建物(v)の日射遮蔽の影響が地表面と建物(iii)の東側 1 階壁面にまで及ぶことから、Z-Z'の平均放射温度（図 2-12[C]）と気温の差はほぼ全域で+1℃以内に収まっている。

次に 12 時に着目すると空地(b), (c)の地表面では午前中に日射遮蔽された部分が蓄冷により表面温度が周囲より約 1~6℃低下している（図 2-12[A]）。また空地(b), (c)では図 2-12[C]に示すY-Y', Z-Z'内の平均放射温度の最大値が空地(a)より 1~2℃低い気温より 5~6℃高い値となっている。また図 2-12[B]に示すように、ダイレクトゲインシステムの開口部の配置が想定される建物(iii), 建物(v)の南側周辺も地表面の表面温度が 50℃以上に高温化することから、平均放射温度が気温より 5℃以上高くなっている。

さらに 15 時に着目すると、空地の東側が日射遮蔽され、空地(a)と比べて隣棟の東側壁面の形態係数が大きくなることから空地(b)では空地の東側 3m程度にわたって平均放射温度が 40℃以上となる箇所が生じる。空地(c)では隣接する建物(v)の 1 階の壁面の表面温度が低くなることから、Z-Z'内では全域の平均放射温度が 32-36℃と他の空地に比べて低く、12 時に比べて低い平均放射温度となる。しかし、建物(v)の西側壁面の一部では日射が照射しやすい部分において表面温度が約 55℃となり、平均放射温度が約 39℃となっている。また、空地に隣接する建物(iii), 建物(v)ともに開口部の配置が想定される南側壁面周辺では地表面の表面温度が 50℃以上に高温化することから気温より 4~5℃高い平均放射温度を示している。

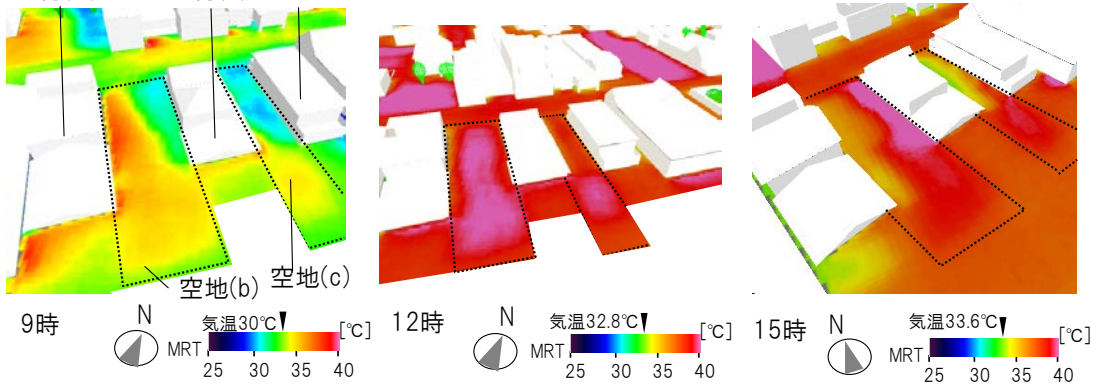
以上から、冬季の日射遮蔽の影響が少なく、開口部の配置が検討できる空地の隣棟建物の西側壁面では空地の間口が狭い場合でも西日の照射により平均放射温度が高温化している。同様に開口部の配置が検討できる南側壁面についても周囲の地表面の高温化により平均放射温度が高温となっている。

[A]表面温度分布



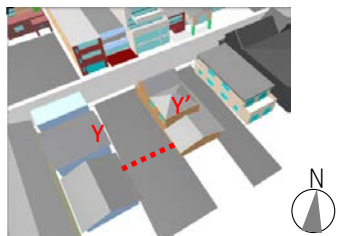
[B]平均放射温度分布(生活空間高さ1.5m)

建物(iv) 建物(iii) 建物(v)



[C]平均放射温度の断面プロファイル

空地(b)と建物(iii),(iv)



空地(c)と建物(iii),(v)

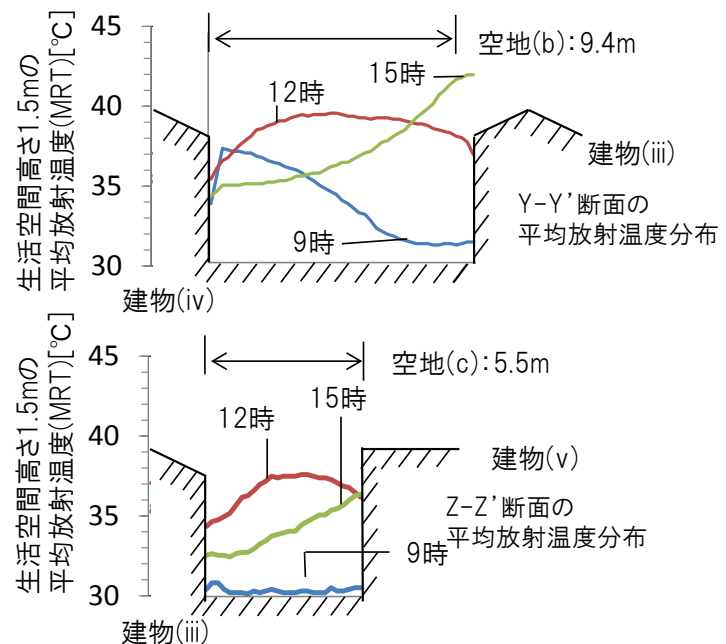
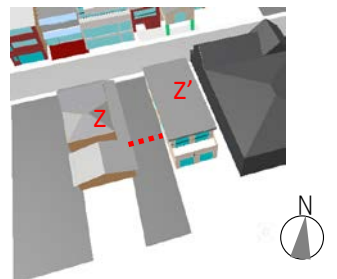


図 2-12 東西の間口の異なる空地 (b), (c) の表面温度分布と生活空間高さ 1.5m の平均放射温度

(3) 隣棟の建物高さの高い空地における熱放射環境

隣棟の建物高さの高い空地(d)について表面温度分布と生活空間高さ 1.5mの平均放射温度を図 t に示す。まず 9 時の熱放射環境に着目すると、隣接する建物(vi)は西に約 15 度傾いていることから空地の東半分は日射遮蔽されず気温より約 5℃高い平均放射温度を示している。また、12 時には空地のほぼ全域に日射が照射し、地表面の表面温度が 50℃以上の高温となることから東西の敷地境界付近を除いて 40℃前後の平均放射温度を示している。

さらに 15 時では建物(vi)の西側壁面のほぼ全域に日射が照射し、表面温度が約 50℃となっていることから、空地を生活空間とした場合、人体に対する高温化した壁面の形態係数が大きくなり W-W 断面では平均放射温度が 44℃を示しており、4 つの空地の中でも最も高い値を示している。

よって、空地(d)では 4 階建ての建物(v)に隣接するが、敷地の方向が 15 度傾いていることにより、日射遮蔽の影響が及ばない部分があるうえに、かつ西日が照射しやすい方位でありことから敷地が高温化する建物(vi)の西側壁面の影響がほかの空地に比べて顕著であるといえる。

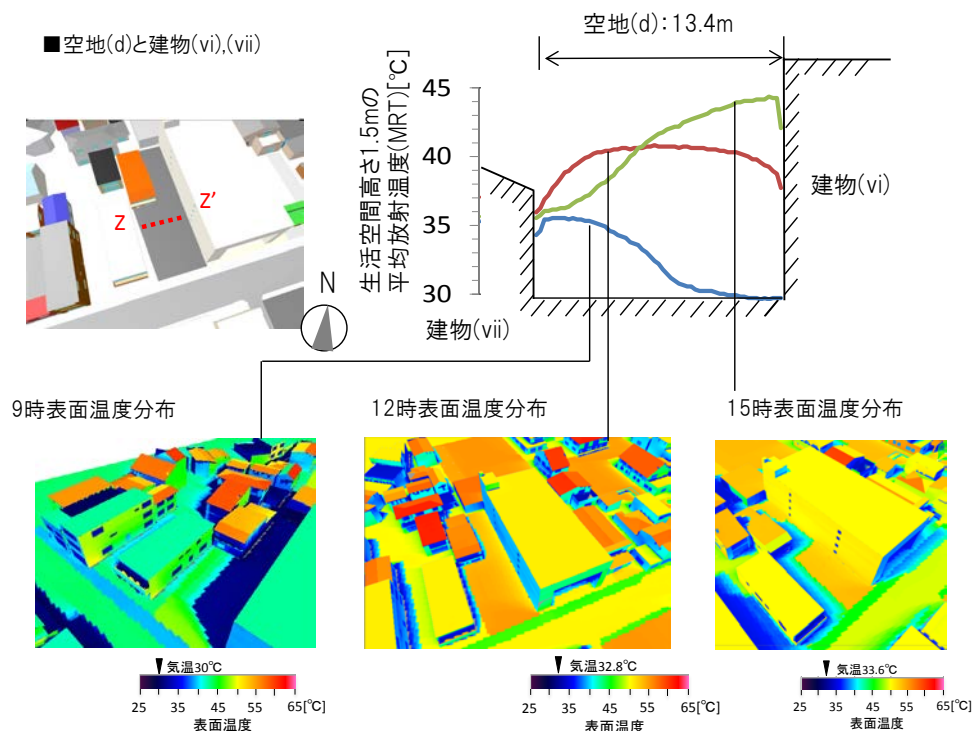


図 2-13 隣棟の建物高さの高い空地 (d) の表面温度分布と生活空間高さ 1.5m の平均放射温度

2-8 まとめ

市街地における建築内外の熱環境に配慮した設計を行うためにダイレクトゲインシステムの導入に着目し、数値解析により市街地の現状の屋外熱環境とダイレクトゲインシステムの導入可能性を分析した。まず、ダイレクトゲインシステムの性能に影響の大きい設計要素や敷地条件を既往研究から整理したうえで、ダイレクトゲインシステムの導入が期待できる地方中心都市の中心市街地を選定した。さらに、対象市街地内の典型的な敷地を抽出し、それぞれの敷地と周囲の空間形態や材料の違いが夏季・冬季の建築外部空間の熱放射環境に及ぼす影響を比較した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 南北に細長い敷地が密集する対象市街地におけるダイレクトゲインシステムにおける開口部の配置の可能性を分析した結果、空地内に住宅を新築する場合、間口の広い空地の中央部、隣棟建物の階高が小さい箇所において東西の隣棟建物の日射遮蔽の影響が少ないことを示した。また、空地の隣接建物に開口部を設ける場合、南側の壁面と、間口の比較的広い空地に隣接した西側の壁面において受熱日射量が大きいことを示した。
- (2) 夏季の市街地の受熱日射量を分析した結果、開口部の配置が検討できる空地の隣棟建物の西側壁面や庇や軒のない南側壁面での日射の照射が顕著である。特に西側の壁面では、空地の間口が狭い場合でも隣棟建物に西日が照射しやすい。
- (3) 夏季の建築外部空間の熱放射環境を分析した結果、冬季の日射遮蔽の影響が少なく、開口部の配置が検討できる空地の中央部や空地の隣棟建物の西側壁面において表面温度が高温化する。よって対象市街地内にダイレクトゲインシステムを導入する場合、地表面と西日の照射により表面温度が高温化する西側壁面への対策が課題であることを示した。

以上から本章では敷地の向き、庇や軒などの建物の具体的な形状を考慮して樹木やダイレクトゲインシステムの開口部の配置の検討を行った。本研究では本章で示した知見に基づいて 5 章において対象市街地におけるダイレクトゲインシステムを適用した住宅の提案を行う。

参考文献

- 2-1) 梅干野晃：住まいの環境学，放送大学教育振興会，pp.274-286, 1998
- 2-2) 長谷川房雄，吉野博，石川善美，松本博：パッシブソーラーシステムの直接熱取得方式における各種要因の数値シミュレーションによる分析 一気候条件および断熱，集熱，蓄熱条件の冬季の室温への影響一，日本建築学会計画系論文報告集，No.383, pp.8-15, 1988
- 2-3) 武政孝治，小玉祐一郎：設計支援を目的とするパッシブソーラーシステム性能予測技法の研究-地域特性を反映する気候パターンの作成と検証-，日本建築学会計画系論文報告集，No. 427, pp.39-47, 1991
- 2-4) 武政孝治，小玉祐一郎，宮岡大：異なる地域における建物方位と補助暖房の関係について，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.469-470, 2008
- 2-5) 小玉祐一郎，武政孝治：パッシブシステムの計画と部位構成 (1)蓄熱部位の配置と冬夏の室温変動，日本建築学会学術講演梗概集，pp.1243-1244, 1989
- 2-6) 宮岡大，小玉祐一郎，蓮井睦子：夏冬のパッシブデザインの統合についての考察 -(2) 温暖地におけるケーススタディにみる庇の影響-，pp.543-544, 2003
- 2-7) 長谷川房雄，木村建一，吉野博，石川善美，松本博，鈴木良一：パッシブソーラーシステム試験家屋を用いた各種直接熱取得方式の熱的性能に関する実験的研究，日本建築学会計画系論文報告集，No.373, pp.21-28, 1987
- 2-8) 財団法人 建築環境・省エネルギー機構：住宅の省エネルギー基準の解説，2009
- 2-9) 日本建築学会低炭素特別委員会：低炭素社会の理想都市実現に向けた研究,2009 年日本建築学会大会PD資料, 2009
- 2-10) 樋口秀，仲条仁：地方都市中心部の低未利用地の実態把握と有効活用方策の検討 - 屋外駐車場に着目した長岡市におけるケーススタディ-，日本都市計画学会都市計画論文集，No.37, pp.595-600, 2002
- 2-11) 大貝彰，江本晃美：豊橋中心市街地における土地及び建物所有者の土地活用意識,日本建築学会技術報告集，No.24, pp.371-376, 2006
- 2-12) 市村充章：駐車場都市という風景，都市計画，Vol.60, No.6, pp.1, 2011
- 2-13) 樋口秀：地方都市における中心市街地とその周辺部の駐車場問題，一新潟県長岡市からみた課題，都市計画，Vol.60, No.1, pp.37-40, 2011
- 2-14) 梅干野晃，浅輪貴史，村上暁信，佐藤理人，中大窪千晶：実在市街地の 3D CADモデリングと夏季における街区のヒートアイランドポテンシャル 数値シミュレーション

による土地利用と土地被覆に着目した実在市街地の熱環境解析その1, 日本建築学会
環境系論文集, No.612, pp.97-104, 2007

2-15) 土浦市: 1/5000 デジタルオルソ航空写真, 2005.1

2-16) 例えばゼンリン: ゼンリン電子住宅地図デシタウン土浦市1, 2008.3

2-17) 土浦市教育委員会: 土浦の町並ー伝統的建造物群調査概要ー, 1979

第3章 建築外部空間の熱収支シミュレーションと関係した ダイレクトゲインシステムの性能予測方法

- 3-1 はじめに
- 3-2 ダイレクトゲインシステムの性能予測のための要件
- 3-3 既往研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測
 - 3-3-1 パッシブソーラーシステムの性能予測手法に関する既往研究
 - 3-3-2 既往の建物熱負荷計算における建築外部空間の取り扱い
- 3-4 本研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測方法
 - 3-4-1 本研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測の流れとアルゴリズムの改良点
 - 3-4-2 建物外表面の吸収放射量と表面温度算出
 - 3-4-3 室内に透過する直達日射の取り扱い
 - 3-4-4 室内に透過する天空日射・反射日射の取り扱い
 - 3-4-5 蓄熱部位の吸収日射量を考慮した室温・熱負荷の算出
- 3-5 まとめ

3-1 はじめに

2 章で示したような実際の市街地や住宅地にダイレクトゲインシステムを適用していくためには、開口部や蓄熱部位の配置、建物のボリュームといった建物自体の設計が室内気候を左右するだけでなく、隣棟建物や既存の樹木等による日射遮蔽の影響を受けるため、冬季には十分な室温上昇効果が得られないことがありうる。一方で、ダイレクトゲインシステムは大面積の開口部を有することから夏季には樹木等により開口部に入射する日射を遮蔽するための対策が求められる。そのため、冬季と夏季の両時期において建築外部空間の影響を検討できることが重要である。

ダイレクトゲインシステムの性能を左右する設計要素としては樹木や屋外構造物等の建築外部空間の設計要素、開口部、蓄熱部位といった室内側の設計要素に分けることができるが、設計ではダイレクトゲインシステムの性能だけでなく他の設計条件とのバランスを考慮して建築の内外の設計要素を決定しなければならない。そこで、それぞれの設計要素がシステムの性能にどの程度寄与するかを確認する方法として数値シミュレーションによる予測が有効であるといえる。

本章ではダイレクトゲインシステムを適用した市街地の住宅において冬季の日射熱利用と夏季の日射遮蔽を両立させるために、既往の建築外部空間の熱収支シミュレーションにより建築外部空間の熱放射環境の予測を行いながらダイレクトゲインシステムの性能を予測する手法を示す。はじめに、数値解析によるダイレクトゲインシステムの性能予測のための要件と既往研究における課題を示す。さらに提示した要件と既往研究における課題に基づいて建築外部空間の影響を考慮してダイレクトゲインシステムの性能を予測する方法を示す。

3-2 ダイレクトゲインシステムの性能予測のための要件

建築外部空間の熱放射環境がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響を予測するためには、冬季の日射熱取得と夏季の日射遮蔽の視点から、図 3-1 に示すように以下の要件が求められる。

- (1) 隣棟建物や塀などの構造物の日射遮蔽の影響を考慮しながら樹木の有効な配置や樹種を検討できること

市街地におけるダイレクトゲインシステムの適用では周囲の隣棟建物や塀による日射遮蔽の影響が及ぶ範囲をあらかじめ把握したうえで夏季の熱放射環境の改善や室内への日射の透過の抑制に有効な樹木の配置を検討していく必要がある。また、冬季、夏季を通じて建築外部空間の熱放射環境や室温を改善するためには樹木の本数や量だけではなく、樹冠の形状や落葉の特性を反映した数値解析の方法によって建築外部空間のデザインを構成するそれぞれの設計要素が解析結果に及ぼす結果を把握する必要がある。

- (2) 樹木や隣棟建物といった建築外部空間の構成物による日射遮蔽の影響を考慮しながら日射熱取得のための開口部を配置できること

ダイレクトゲインシステムにおいて開口部の配置は日射熱取得を左右するだけでなく、蓄熱部位への日射の照射、熱環境以外の視点からも重要な設計要素であり、複数の設計条件のバランスにより決定される。よって、敷地や建物の外表面における日射熱取得の可能性を空間的な分布で把握できることが望ましい。

- (3) 蓄熱部位の配置、構成材料の決定において、室内への日射の入射量及び蓄熱部位における吸収日射量の分布を考慮できること

蓄熱部位が吸収する日射量はダイレクトゲインシステムの室温変動を左右することが既往研究でも明らかにされており、吸収する日射量は配置や表面の日射反射率によって左右される。特に市街地では周囲の建物等の日射遮蔽の影響を考慮しながら蓄熱部位の配置や表面の材料を決定していくこととなる。よって、数値解析では日射の照射位置を明らかにし、蓄熱部位を含む室内表面の吸収日射量を明らかにしていく必要がある。

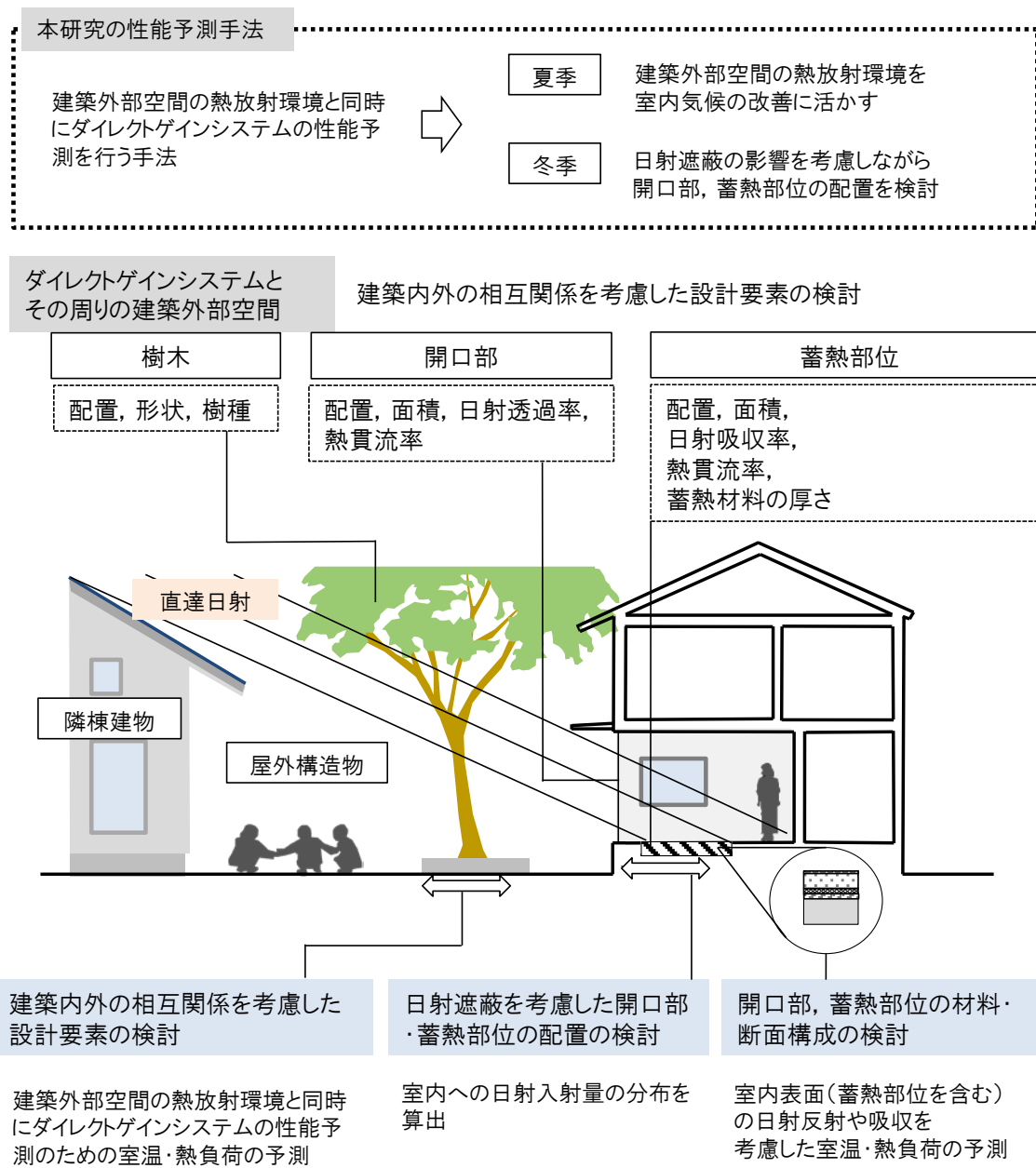


図 3-1 ダイレクトゲインシステムの性能予測のための要件

3-3 既往研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測

3-3-1 パッシブソーラーシステムの性能予測方法に関する既往研究

パッシブソーラーシステムを適用した住宅では、夏季の通風等の状態を除けば、空間が部屋毎に閉じていることから部屋の日射熱取得によって部屋毎に室温差が生じ、その室温差は建築外部空間に生じる気温分布に比べて顕著であることから、室内熱環境を予測するうえで室温を予測することは重要といえる。本研究のように、ダイレクトゲインシステムを導入した住宅において建築内外の熱環境を予測する場合、建築内外の表面温度（建物の壁体の断面温度分布）と室温、外気温の間に相互依存性があるため、境界条件の設定方法に課題が生じる。また、室温や気温の空間分布についてはCFD解析などの解析技術の進歩により算出が可能になっているが定常状態かごく短時間の時系列変化を対象としているのが現状である。特に、蓄熱部位に日射を吸収させ日射熱を利用するパッシブソーラーシステムでは、表面温度は非定常性を有し、数日単位の時刻履歴が室温や熱負荷に影響する³⁻¹⁾ため、空間分布を考慮したミクロなスケールで時刻別に室温の変化を把握することは困難である。よって、パッシブソーラーシステムにおける数値解析では長谷川ら、武政ら³⁻²⁾、Wrayら³⁻³⁾、Sharma³⁻⁴⁾のように建物熱負荷計算のマクロモデル（図 3-2）を用いてそれぞれの設計要素が室温の時系列変化に及ぼす影響を明らかにすることが一般的である。

長谷川らは室の大きさや蓄熱部位、開口部等の条件が室温変動に及ぼす影響を確認するためにそれぞれの集熱、断熱、蓄熱条件における室温変動を単室の建物熱負荷計算で算出している。この手法では日射の多重反射は考慮しているが、日射はすべて床に入射することを仮定していることから日中の室温に最大で 5℃程度の誤差が生じる。また、小玉らはパッシブソーラーシステムの設計支援を目的とし、建物を単室に単純化したうえでそれぞれの設計要素が室温変動に及ぼす影響を確認できるツールを開発しているが、室間の熱の移動や建築外部空間の取り扱いには課題がある。

さらに、近藤ら³⁻⁵⁾は日射熱を潜熱蓄熱材に吸収させ室温の安定を図るシステムの性能の把握として、戸河里ら³⁻⁶⁾の大空間の上下温度分布予測モデルを用いて室の上下温度分布を算出し、潜熱蓄熱材の蓄熱性能として室温変動を予測している。しかし、このモデルでは上下ブロック間の熱の移動は実測により経験的に算出されており、分割ブロック数や室の形状など適用範囲が明らかにされていない点が課題である。

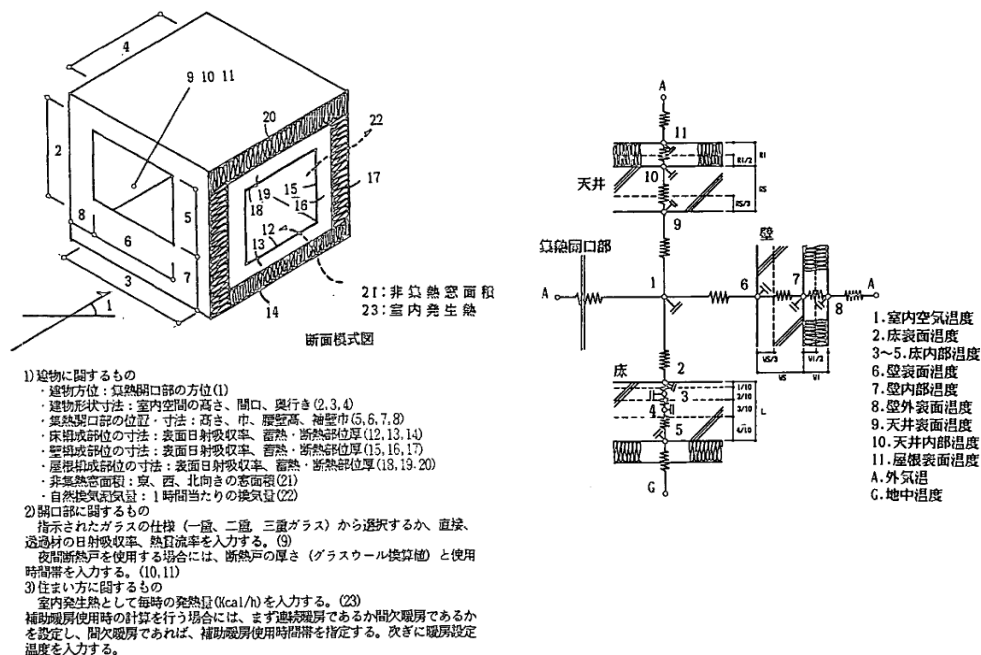


図 3-2 ダイレクトゲインシステムの室温・熱負荷の予測におけるマクロモデル例
(武政ら³⁻²⁾より引用)

3-3-2 既往の建物熱負荷計算における建築外部空間の取り扱い

建物における室温変動を予測する手法としては、建物熱負荷計算による計算が一般的である。汎用的な熱負荷計算手法としてはSMASH³⁻⁷⁾やEnergyplus³⁻⁸⁾等のツールによる室温、熱負荷の予測が挙げられる。

まずSMASHにおける建築外部空間の扱いとしては、隣棟建物との距離や高さ等が簡易なパラメータで扱われており、2章で示した現状分析のように凹凸のあるボリュームや複雑な屋根の形状を考慮した日射遮蔽の影響は考慮できない。また、Energyplusのようなシミュレーションでは投影図的な解析を行うものがみられ、投影図の解析では複雑な形状を持つ遮蔽物の投影面と建物、地表面を構成するポリゴンの処理や遮蔽物が重なり合う場合等取り扱いが煩雑になることが指摘されている。特に、樹木のような複雑な形状や日射透過性を有する構成物に関する扱いに課題があり、樹木の日射遮蔽の影響を含めた建築外表面の日射量分布について考える必要がある。

一方で、樹木を含めた建築外部空間を考慮した建物熱負荷計算手法として、樋口ら³⁻⁸⁾が日射遮蔽の影響と長波長放射を考慮した熱負荷計算手法を提案し、建物の受照面を微小面に分割し、樹木の配置、形状、日射透過率の違いを考慮した日射量を算出し、その建物熱負荷への影響を示している。また、Rempel¹⁻¹⁴⁾らは建築外部空間を考慮した付設温室方式のパッシブソーラーシステムの解析を行っている。しかし、この両者については樹木の日射透過率は考慮しているが、樹冠内の日射の減衰や通過距離をどう考慮するかについては言及していない（図 3-3）。また建築外部空間の扱いについても、直達日射の遮蔽や天空率の減少による天空日射、大気放射の減少について扱っているが建物熱負荷計算手法として建築外部空間の影響を考慮していることから日射反射や蓄熱といった建築外部空間の材料特性を考慮した手法ではない。

これに対し、浅輪らは建築外部空間の表面温度計算を行う熱収支シミュレーション（3D-CAD対応熱環境シミュレータ¹⁻¹⁸⁾）と建物熱負荷計算の連成手法の開発を行っている³⁻¹⁰⁾。この連成手法では建築外部空間の全表面をメッシュ分割したうえで熱収支計算に基づき、外表面の吸収放射量を算出し、建物熱負荷計算の面毎の平均値を建築外表面の面毎にその平均値を境界条件として与えて熱負荷計算を行うことにより、建築外部空間の熱放射環境を考慮した建物熱負荷を算出する。しかし、浅輪ら³⁻¹⁰⁾の手法では室内に透過した日射は総量として室内の各表面に分配していることから、室内に透過した日射が室内のどこに入射し、吸収されるかについては把握が不可能である。よって、室内への日射の照射位置が蓄熱性能を左右するダイレクトゲインシステムにおいてはこの点が特に課題である。

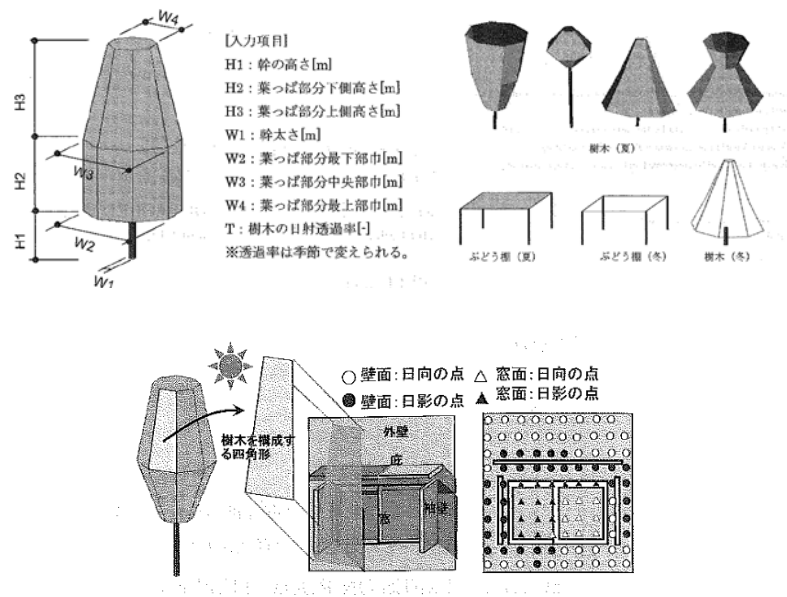


図 3-3 樋口らのモデルにおける日射遮蔽の取り扱い

表 3-1 既往の手法における建築外部空間、室内に透過する日射の取り扱い

既往手法	建築外部空間の取り扱い	建築外部空間の熱環境の予測との関係	室内に透過する日射の取り扱い
長谷川ら	・ 特に記述なし	なし	- 入射する日射は全て床に入射するという仮定 - Gebhartの放射吸収係数法により多重反射を考慮
小玉, 武政 (PASSWORK)	・ 直達日射量に係数を乗じて日射遮蔽の影響を推定	なし	直達日射量: 直達日射の床面への水平投影面積から床と壁に配分 (室内表面の日射反射率の影響も考慮し受熱日射量を算出) 天空日射量: 面積比で床, 壁, 天井に配分
Energyplus	- 投影図の解析により隣棟建物, 樹木による日射遮蔽の影響を考慮 - 専用のモジュールにより周辺環境の天空日射, 大気放射, 反射日射の影響も考慮	なし	- 投影図による解析により直達日射の照射位置を考慮(専用モジュール使用の場合) - ただし樹木や隣等建物による日射遮蔽の扱いについては不明
坂本 (SMASH)	・ 隣棟からの日射遮蔽の影響を隣棟距離, 隣棟高さのパラメータで設定	なし	日射の方向等を考慮せず, 透過日射は床, 壁, 天井に一定の割合で吸収されると設定
樋口ら	- 投影図の解析により隣棟建物, 樹木による日射遮蔽の影響を考慮 - 天空率の算出により天空日射, 大気放射への影響も考慮	なし	
浅輪ら (3D-CAD対応熱環境シミュレータ)	・ メッシュ毎の屋外熱収支計算の結果を建物熱負荷計算の面に平均化して与える	屋外表面を質点系メッシュに分割し, 表面温度分布を算出	

3-4 本研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測方法

3-4-1 本研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測の流れとアルゴリズム の改良点

本研究では樹木や隣棟建物によって形成される建築外部空間の熱放射環境を考慮しながら蓄熱部位の面積や配置を検討する方法として、浅輪ら³⁻¹⁰⁾の方法と同様に、室温を室ごとの平均化したモデルとして扱い、建築外部空間の熱収支シミュレーションと建物熱負荷計算の別々のシミュレーションを連成させる。2つのシミュレーションの間を連成させるための方法としては、建築外部空間の熱収支シミュレーションのメッシュ毎のデータと面毎のデータを部位、面毎に面番号を与えて対応させたうえで、メッシュ毎の受熱放射量を平均化して建物熱負荷計算の面に与えている（図 3-4）。

さらに、室内表面に入射する蓄熱部位の吸収する日射量を予測するために浅輪らの方法において、建築外部空間の熱収支シミュレーションのメッシュ分割を室内の床、内壁、天井、蓄熱部位に拡張し、室内表面に入射する直達日射量を建築外部空間の熱収支シミュレーションと同時に解析している。

なお、室内については日射熱取得と蓄熱部位の吸収日射量が室温、熱負荷に及ぼす影響を予測することを目的とするため、従来の建物熱負荷計算と同様に各室を一質点として扱う。近藤ら³⁻⁴⁾のように上下温度分布等により性能把握を試みる例もあるが、適用範囲に課題があることから本研究では扱わないこととし、今後の課題とする。

本方法における空間の形状の再現性については、建築内外の表面において日射量の分布が建築内外の熱環境の予測において重要となることから、計算対象の建物、隣棟建物ともに、ボリュームを再現するだけでなく、屋根の傾きや軒、庇の出や開口部、蓄熱部位の配置を再現する。なお、形状の再現性については、開口部や庇における微小な凹凸のように詳細な形状の影響も想定されるが本方法では再現しない。

また、本方法における建築外部空間の熱収支シミュレーションと建物熱負荷計算の連成の方法として、建築外部空間の熱収支シミュレーションと室内表面に入射する直達日射量のそれぞれのメッシュにおいて、建物熱負荷計算との対応関係を記述するために部位、材料、面毎に番号を与えることとする。また、樹木については既往のシミュレーションと同様に樹冠直下の日射透過率を設定し、日射透過率を各メッシュに空間分布は一様とし、異方性がないと仮定したうえで与える。このような樹冠形状の詳細な再現や樹冠内の日射透過率の空間的な分布、日射透過率の異方性については今後の課題とする。

建物熱負荷計算の空間モデルでは部屋毎に構成面（壁，床，天井，窓等）に壁番号を与え，さらにその面が隣接する部屋の番号（隣室番号 $rinsitsu(r,g)$ ）と，その隣接する部屋における当該面の壁番号を対応させデータとして格納する(図 3-5)。そして，各部屋の外壁面に対しては隣室番号を 0 番とし，さらに隣室における壁番号を先の面番号とする。

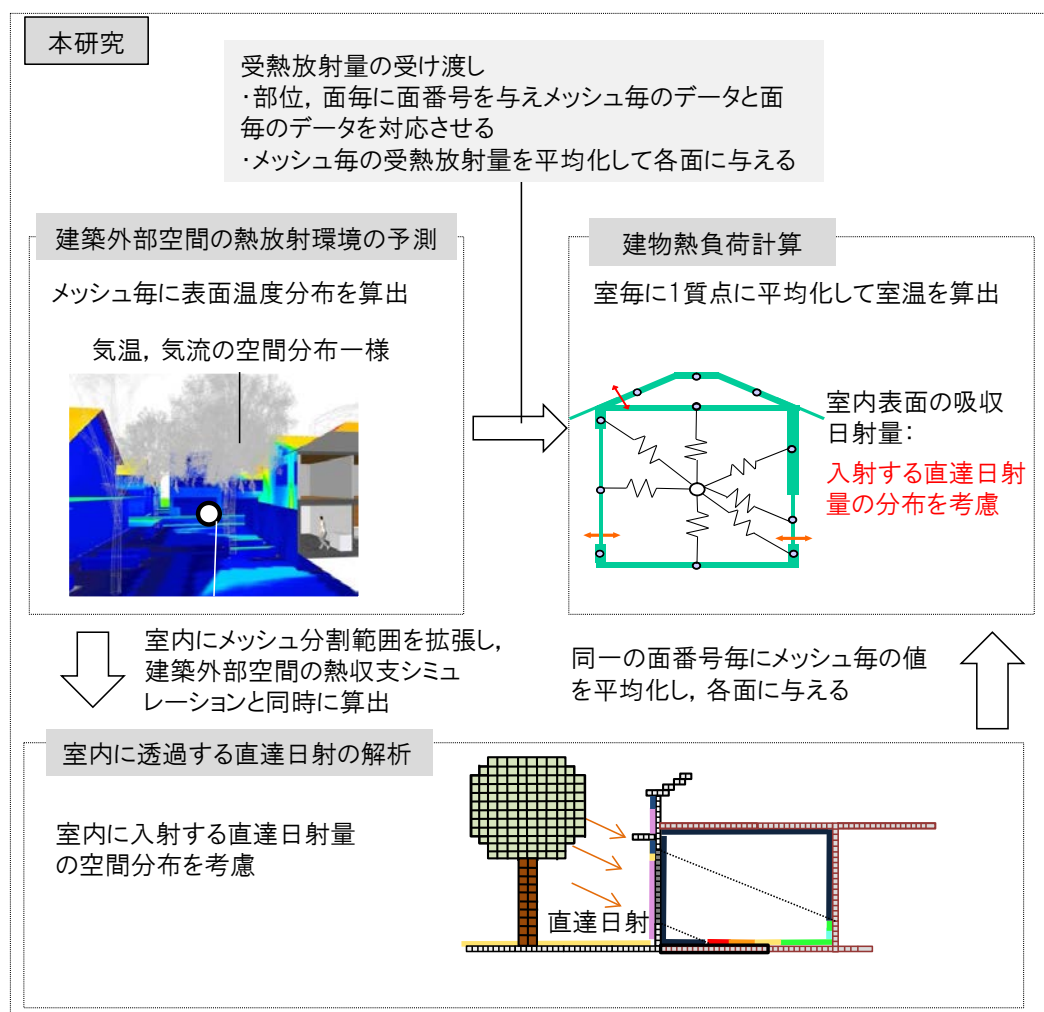
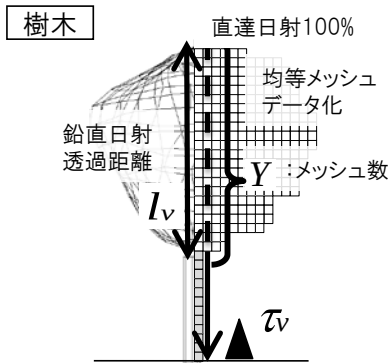
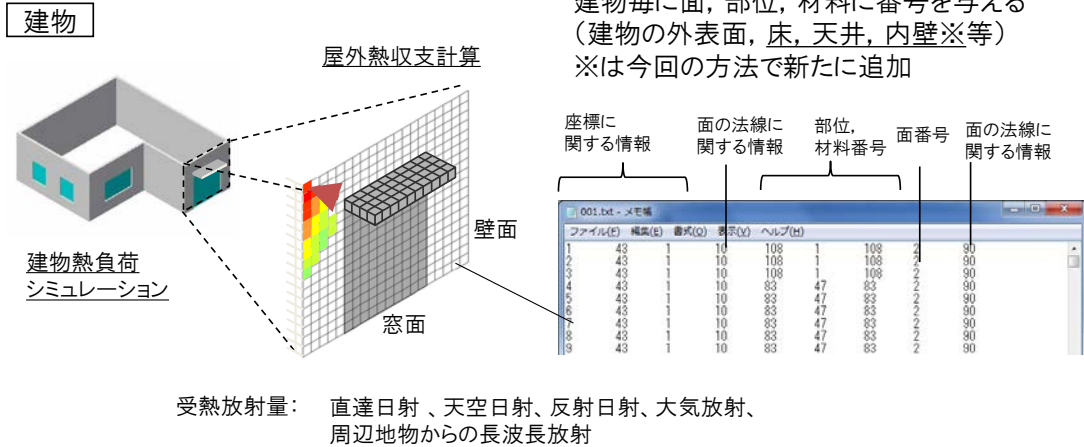


図 3-4 本研究におけるダイレクトゲインシステムの性能予測フロー

屋外熱収支シミュレーション
室内表面の直達日射量分布の計算



現段階では樹冠直下の日射透過率X%として、
日射の通過距離を考慮した日射透過率 τ_1 を
各メッシュに与える

$$\tau_1 = \sqrt[Y]{\tau_v / 100}$$

建物熱負荷計算における面, 隣壁番号

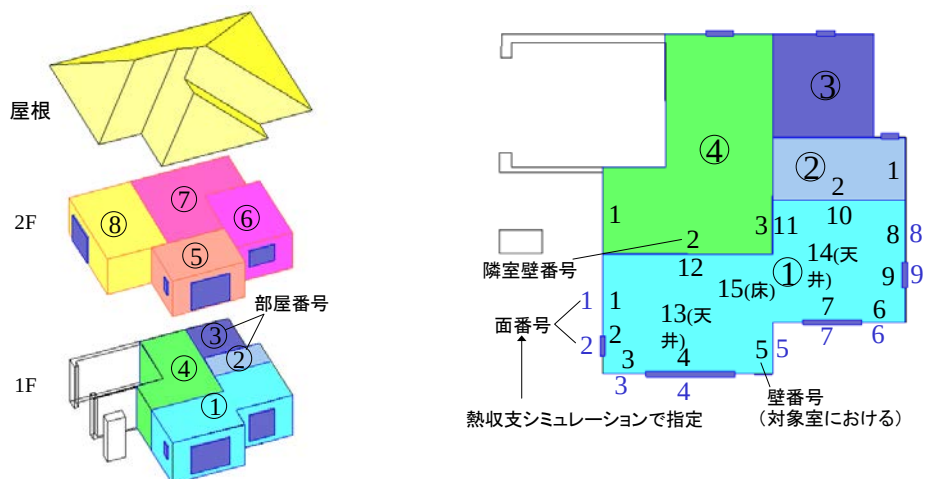


図 3-5 本研究における各シミュレーションの空間モデル

3-4-2 建物外表面の吸収放射量と表面温度算出

既往の熱収支シミュレーション¹⁻¹⁸⁾による表面温度の算出アルゴリズムと同様に、3次元の形状を再現した建物、樹木、屋外構造物及び2次元の地表面の全表面をメッシュ分割し、外表面の熱収支解析を行う。各メッシュには図3-5のように情報（座標、部位番号、材料番号、当該面における水平・鉛直方向の法線ベクトル）を格納する。熱収支解析では2章の数値解析と同様に各メッシュの質点において建築外部空間の表面の熱収支計算（直達日射、天空日射、反射日射、大気放射、周辺地物との長波長放射の授受、対流熱伝達、潜熱輸送）と各面断面方向の1次元非定常熱伝導計算を行う。

直達日射量はレイトレース法により、各質点から日射の入射方向に探索線を射出し、樹木等の日射透過を考慮したうえで日射の入射方向のベクトルと各面の法線ベクトルの内積を乗じ、算出する。鏡面反射は鏡面反射面（質点）において、直達日射の反射角方向にトレースし、到達地点の質点に反射日射量を与える。拡散反射は完全拡散条件とし、質点から周辺の半球方向への探索線射出を行い、到達地点が拡散反射面の場合にその反射日射量を取得し計算する。反射日射については、建築外部空間において日射反射率が比較的高い場合には複数回の反射を考慮する必要があるが、本研究の解析では1回としている。天空日射量は別途計算される天空率と気象条件の水平面天空日射量の積として計算する。天空率の計算は質点に対して360度を一定の間隔で分割したうえで、その分割方向に探索線を射出し、到達した地物の高さ方向の仰角から天頂角を求め、算出している。

大気放射量は天空率とBruntの式で求まる放射量の積から算出する。周辺地物からの長波長放射の受熱量は質点から周辺半球方向への探索線の射出により地物の表面温度を参照するが、ここでは長波長放射解析と表面温度の算出を反復計算により収束させる方法としている。具体的には、①建物などの周辺地物の表面温度を気温同等とみなして第1次の熱収支計算を行い、表面温度の近似値の時系列変化を得る②得られた表面温度の近似値を利用し、各メッシュから周辺に向け探索線を射出し、到達地点の表面温度値を取得し、周辺メッシュからの長波長放射の時系列変化を得る、の手順をとる。

この熱収支計算の際、気温・風速は2章と同様にキャノピー空間内一定と仮定し、対流熱伝達率はユルゲスの式により算出している。

本研究ではこの熱収支解析で得た建物外表面の吸収放射量を建物熱負荷計算の面毎に平均化し、建物熱負荷計算の境界条件として用いる。

3-4-3 室内に透過する直達日射の取り扱い

既往の建物外表面における熱収支計算のアルゴリズムを室内まで拡張し、室内表面の各メッシュの中心から太陽方向へのレイトレーシングにより室内に入射する直達日射量の分布を算出する。本研究では、室内のメッシュ分割については建築外部空間の熱収支シミュレーションと同一のサイズとしている。メッシュ分割の方法については、空間分解能を建築内外で分ける、底等、解析に精度が必要な部分の空間分解能を詳細にする方法も想定できるがこの点については今後の課題とする。

隣棟建物の日射遮蔽だけでなく、樹木の複雑な形状による日射遮蔽や樹冠内の日射透過距離の違いも考慮可能としている。算出した直達日射量の分布は可視化することで、蓄熱部位の配置等について検討することもできる（図 3-7）。

まず、直達日射の室内への透過についてはガラス窓面における指向透過特性を考慮し、宇田川が示している手法³⁻¹²⁾に基づき、日射透過率に係数(標準入射角特性)を乗じている。この係数は面の法線と入射角のなす角の余弦を変数とする関数で表され、式 3-1 のようにあらわされる。開口部における日射の透過についてはカーテンやブラインドを考慮した日射透過率の扱いも想定できるが本研究では考慮していない。ブラインドについては既往研究^{3-13)~3-15)}においてブラインドのスラット角、入射角が日射遮蔽係数に及ぼす影響を示していることから、開口部にスラット角と入射角を考慮した係数を開口部の日射透過率に乗じることが想定される。

次に、室内に透過した日射が室内表面で吸収される過程に着目する。室内表面に入射した直達日射は室内表面が入射した箇所では反射し、室内の各面で反射を繰り返し、室内表面のどこかで吸収されるか、開口部を透過し、建築外部空間に出ていく。

本方法では、最終的に多数室の建物熱負荷計算において各室を一つの質点として扱うことから、メッシュ毎に反射の経路を追跡し、日射の吸収量を求めることは煩雑であり、計算負荷が増大すると考えられる。

よって、計算負荷削減のため、壁、天井、床（蓄熱部位を含む）の直達日射量の分布は熱負荷計算の面毎に平均化し、面毎の相互の反射を解くことにより室内表面の吸収日射量を算出する。なお、直達日射量の分布を平均化しているが、平均化した場合でも面毎の熱流は同じであり、最終的な室温の解析結果にも差異は生じない。また、算出した各面毎の直達日射量は、Gebhartの放射吸収係数法により、相互の多重反射を考慮したうえで他の面に分配する（式 3-2）。室内表面の日射反射については日射反射の指向性を考慮する必要があるが本研究では均等拡散面として仮定している。日射反射の指向性については中大窪ら

3-16), 一ノ瀬ら 3-17)が実測によって物性を確認しており, 濃色の光沢のあるタイル等で日射の反射について鏡面性が強いことが示されている。このような材料への適用については今後の課題とする。

<標準入射角特性 (直達日射) >

$$CI_D = 3.4167 \cos \theta - 4.3890 \cos^2 \theta + 2.4948 \cos^3 \theta - 0.5224 \cos^4 \theta \quad \dots \text{式 3-1}$$

CI_D : 標準入射角特性 (直達日射), θ : 面の法線と入射角のなす角

<室内表面の吸収日射量の算出>

$$JD_m = (1 - \rho_m) ID_m + \sum_{k=1}^N R_{km} \rho_k ID_k \quad \dots \text{式 3-2}$$

$$JS_m = \sum_{k=1}^N R_{km} \rho_k IS_k \quad \dots \text{式 3-3}$$

<Gebhart の放射吸収係数の算出>

$$R_{ij} = \varepsilon_j F_{ij} + \sum_{k=1}^N F_{ik} (1 - \varepsilon_k) R_{kj} \quad \dots \text{式 3-4}$$

$$[r] = [A]^{-1} \cdot [b] \quad \dots \text{式 3-5}$$

$$A_{ki} = \begin{cases} 1 - (1 - \varepsilon_k) F_{kk} & (k = i) \\ -(1 - \varepsilon_k) F_{ki} & (k \neq i) \end{cases} \quad \begin{matrix} b_i = \varepsilon_j F_{ij} \\ r_i = R_{ij} \end{matrix}$$

JD_m : m 面の吸収日射量 (直達日射に由来する成分) [W/m²]

ID_m : m 面に入射した直達日射量 [W/m²]

R_{ij} : i 面からの放射量のうち j 面で吸収される割合 (Gebhart の放射吸収係数)

ρ_m : 日射吸収率 [-]

JS_m : 室内表面 m の吸収日射量 (天空・反射日射に由来する成分) [W/m²]

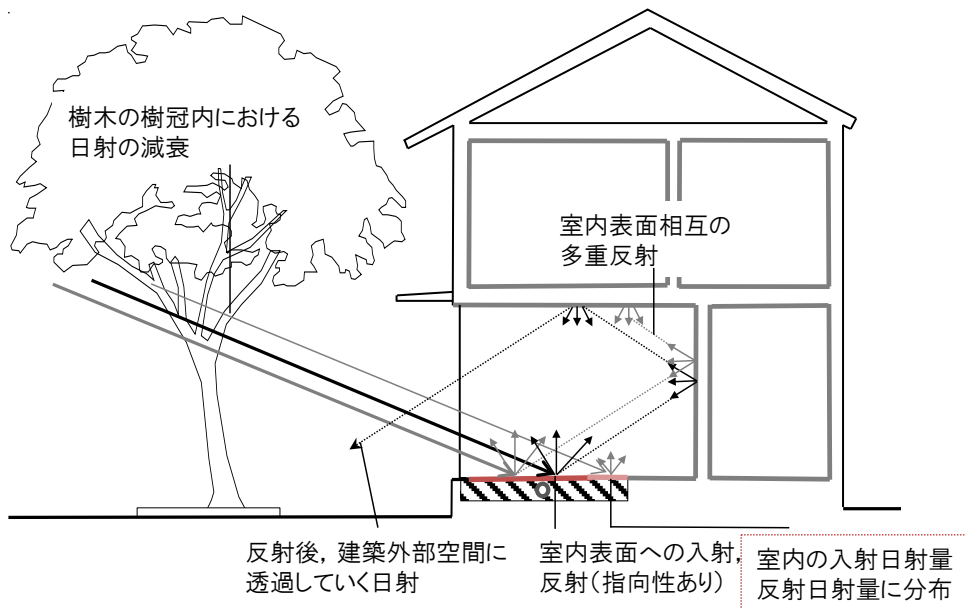
IS_m : 窓面 k から透過した天空日射量, 反射日射量 [W/m²],

F_{ij} : 面 i から見た j の形態係数 [-]

I_{SR} : 天空日射量 [W/m²]

ε : 長波長放射率 [-]

■室内に透過した直達日射が室内表面に吸収される過程



■本研究での取り扱い：室内表面を拡散面と仮定し、部位、構成材料毎の面に平均化した取扱い

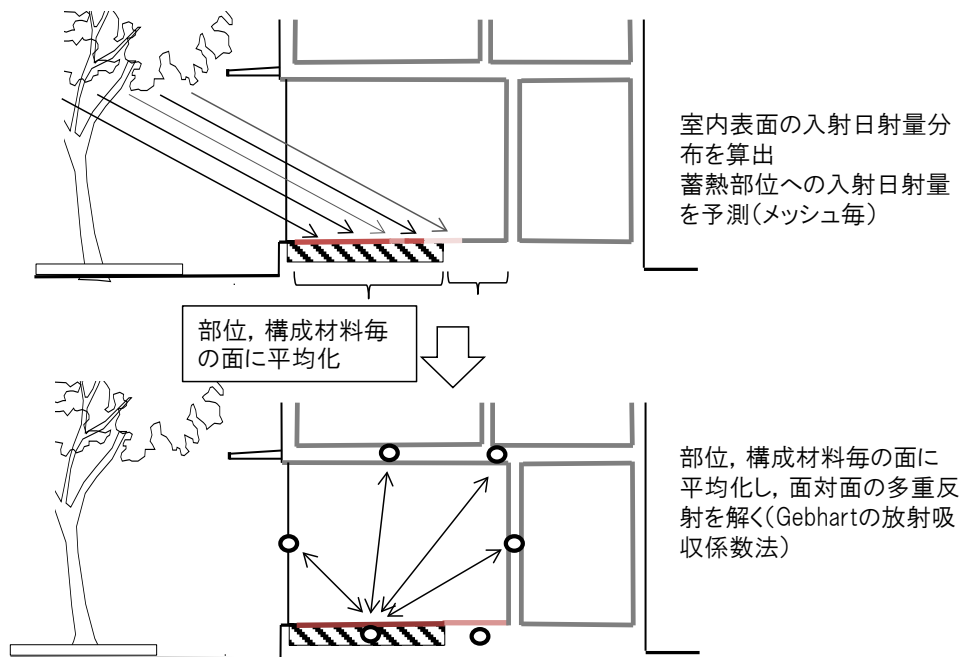
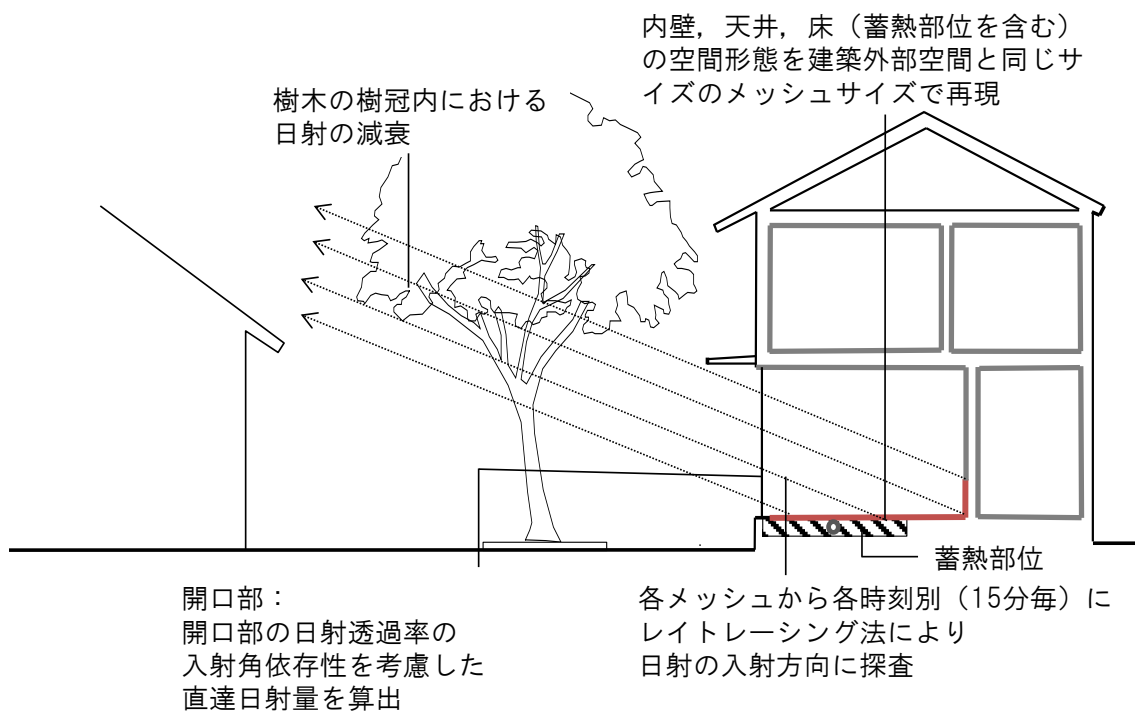
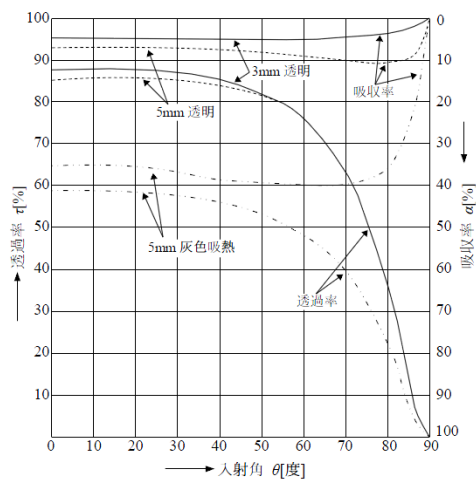


図 3-6 本研究における室内に透過する直達日射の取り扱い

■レイトレーシング法による室内表面の入射日射量の算出



■ガラスの日射透過率の入射角依存特性



■受熱日射量分布の可視化例

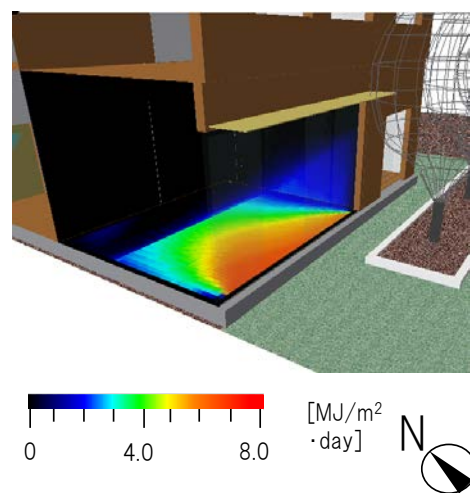


図 3-7 室内表面に入射する直達日射量分布の算出

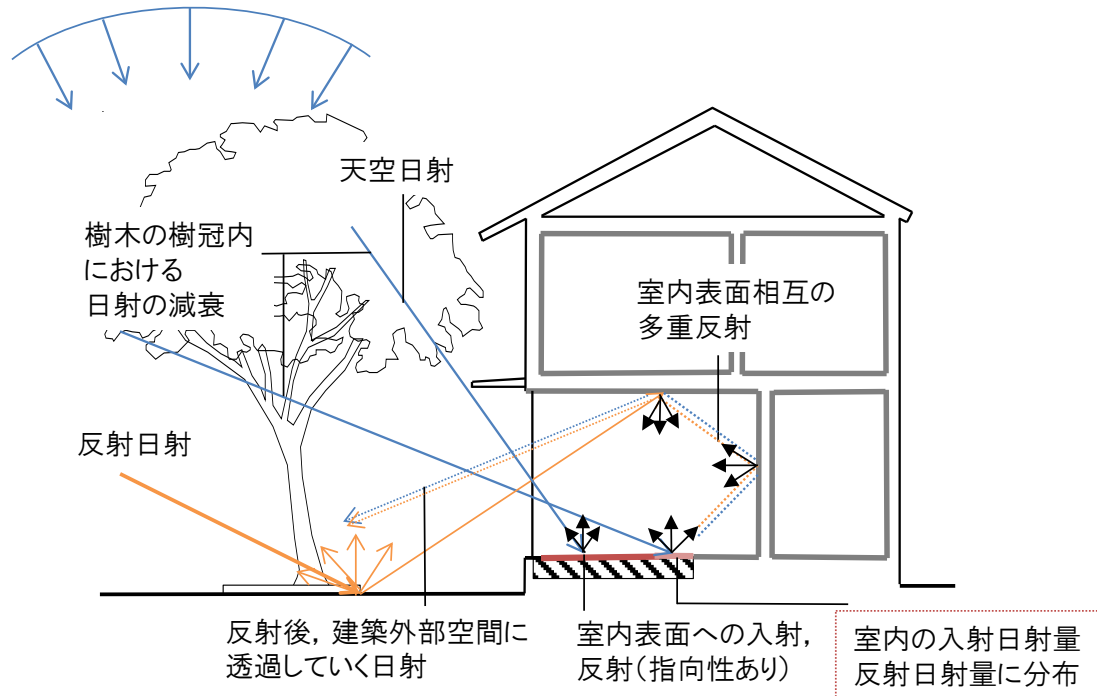
3-4-4 室内に透過する天空日射・反射日射の取り扱い

室内に透過する天空日射量については天空率が周辺建物や樹木によって著しく減少する場合にその影響を考慮する必要がある、直達日射量と同様のレイトレーシング法による算出方法も想定できる。しかし、天空日射は直達日射と異なり天空の 2π 方向から入射することから、立体角 2π 方向へのレイトレーシングを行う場合、計算負荷が大幅に増大する。

よって、天空から開口部への入射量（式 3-1 で算出、天空率を考慮）を平均化し、室内の面対面の相互の反射を解くことによって室内表面の吸収日射量を算出する。室内の面対面の相互の反射については室内に透過した天空日射量は開口部から等方的に拡散すると仮定し、開口部に入射する天空日射量の面毎の値に日射透過率を乗じた透過量を算出したうえでGebhartの放射吸収係数法（式 3-4, 3-5）で他の室内表面に分配することとする（式 3-3）。なお、開口部を透過する天空日射の日射透過率については天空方向からの入射方向が一樣ではないことから本研究では入射角を考慮せず一定の値を与える。

また、室内に透過する反射日射は解析対象の建物の周囲の地物からの反射によってさまざまな方向から開口部に入射し、室内に透過した後は室内表面で複数回の反射を繰り返したうえで吸収されていく。室内に透過する反射日射も天空日射と同様に開口部に入射する方向が一樣でないことから、天空日射と同様の方法をとることとする。

■室内に透過した天空日射，反射日射が室内表面に吸収される過程



■本研究での取り扱い：室内表面を拡散面と仮定し，部位，構成材料毎の面に平均化した取扱い

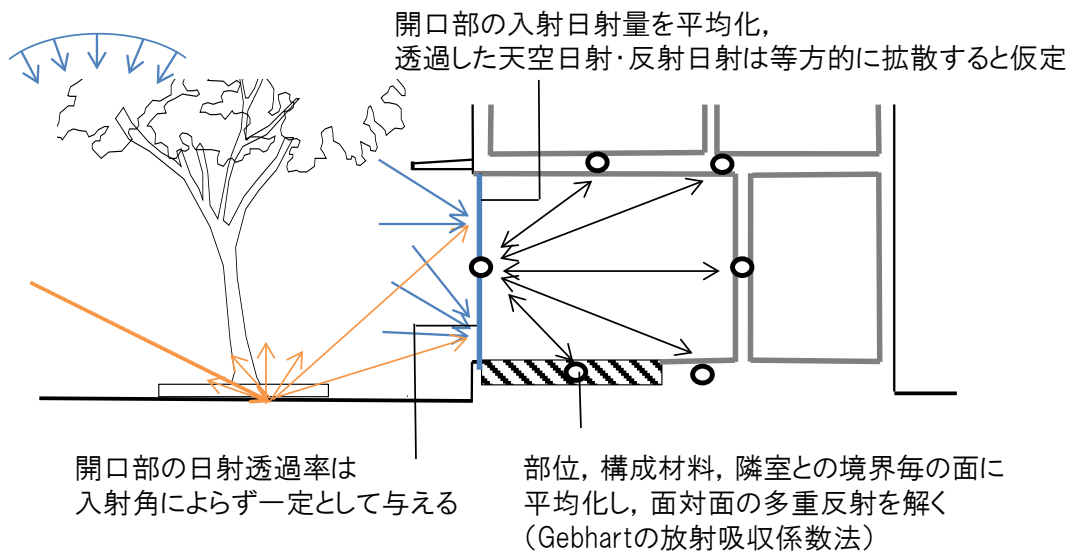


図 3-8 本研究における室内に透過する天空日射・反射日射の取り扱い

3-4-5 蓄熱部位の吸収日射量を考慮した室温・熱負荷の算出

本方法では、蓄熱部位に吸収した日射量の違いが室温・熱負荷に及ぼす影響を把握するため、建物熱負荷計算により室温を算出する。室温を決定する要因としては壁面の表面温度からの対流熱伝達、換気による熱輸送、内部発熱、空調による熱の除去、加熱が挙げられる（図 3-9）。また、複雑な空間形態・室構成を有する住宅への適用を想定していることから、室間の熱伝導や換気による熱の移動も室温に影響を及ぼすと考えられる。よって室温解析は多数室計算により室ごとに熱収支（式 3-6）を立て室温を算出する。室温の計算に関しては、後退差分法により、多数室問題のため、室数の次元の連立方程式を立て行列計算をする。壁面の表面温度については、壁面の断面一次元方向の熱伝導を解くことにより求めている。換気については換気回数法により適切な換気回数を設定する（後述）。

また、壁面の熱伝導については、外表面側の境界条件について、3-4-1 の解析で得たメッシュごとの吸収放射量を面毎に平均化した値（式 3-8）を、室内側の境界条件について 3-4-2, 3-4-3 で算出した室内表面の吸収日射量（式 3-9）を時系列で入力する。なお、長波長放射については、開口部における建築外部空間の大気放射、周辺地物からの長波長放射の透過については、透過せず、外表面に吸収されるものとする。また、室内の壁面相互放射についてはGebhartの放射吸収係数法により面の吸収放射量を算出している（式 3-11）。

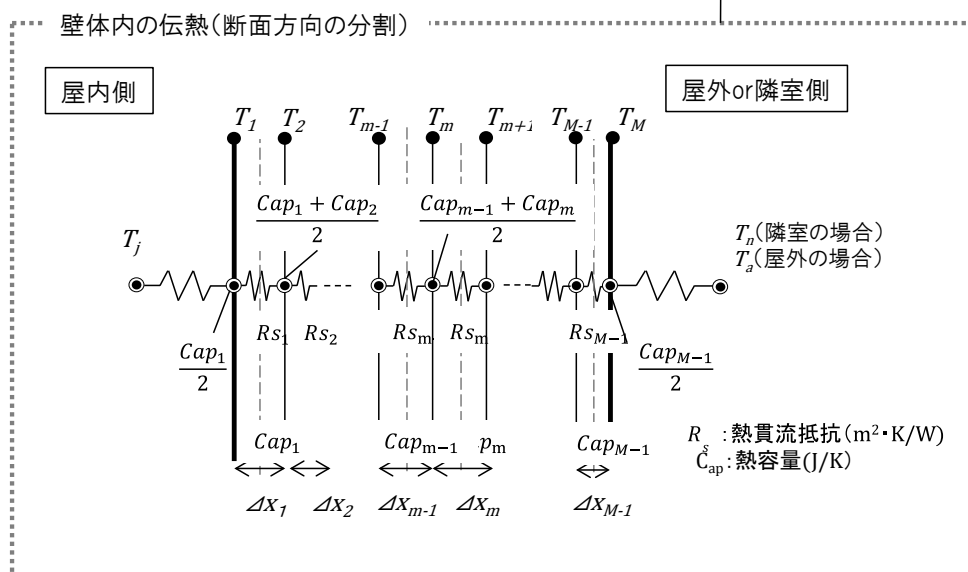
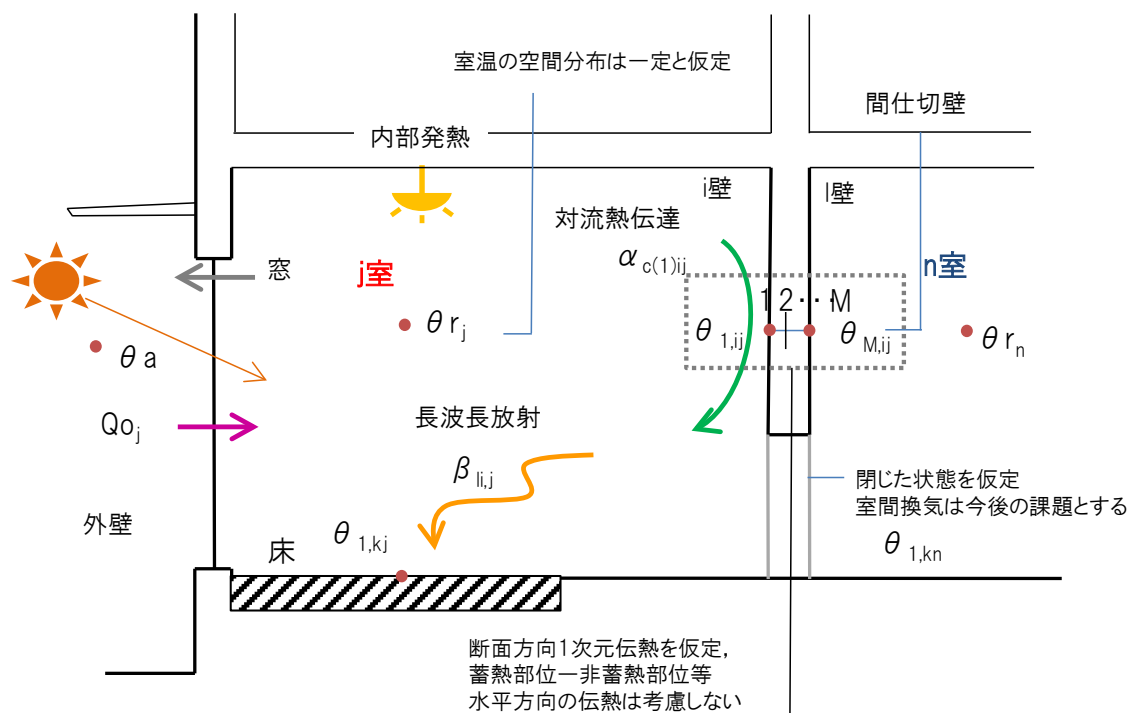


図 3-9 壁体熱伝導計算のための断面方向の分割と室温・熱負荷の算出のための熱収支

<j 室熱平衡式> . . . 式 3-6

$$M_j \frac{d\theta_j}{dt} = \sum_{i=1}^{N_{wj}} \alpha_{c(1)ij} A_{wj} (\theta_{1,ij} - \theta_j) + \sum_{\substack{n=1 \\ n \neq j}}^{N_r} C_{pj} Q_{nj} (\theta_n - \theta_j) \\ + C_{\gamma} \gamma_j (\theta_a - \theta_j) + L_j \epsilon H_j$$

<壁体の熱平衡式> . . . 式 3-7

$$\theta_{1,ij}^{K+1} = \sum_{m=1}^{M_{ij}} u_{1m,ij} \theta_{m,ij}^K + u_{11,ij} v_{(1)ij} (\alpha_{c(1)ij} \theta_j^{K+1} - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{N_{wj}} \beta_{li,j} \theta_{1,lj}^{K+1} + S_{1,ij}) + u_{1M,ij} v_{(M)ij} \alpha_{0(M)ij} \theta_{ij}^{K+1} \quad \dots \text{外壁}$$

$$= \sum_{m=1}^{M_{ij}} u_{1m,ij} \theta_{m,ij}^K + u_{11,ij} v_{(1)ij} (\alpha_{c(1)ij} \theta_j^{K+1} - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{N_{wj}} \beta_{li,j} \theta_{1,lj}^{K+1} + S_{1,ij})$$

$$+ u_{1M,ij} v_{(M)ij} (\alpha_{c(M)ij} \theta_n^{K+1} - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{N_{wn}} \beta_{lk,n} \theta_{1,ln}^{K+1} + S_{M,ij})$$

. . . 間仕切

A_{wj} : j 室 i 壁の面積 [m²]

Cap_m : 多層壁内 m 層の熱容量 [J/K]

$C_p \gamma$: 空気の容積比熱 [J/Km³]

$[c]_{ij}$: j 室 i 壁のガラス，軽量壁各層の熱コンダクタンス行列

H_j : j 室の除去熱量 [W]

K_s : 建物全体の壁面総数

Lc_j : j 室の室内発熱の対流成分 [W]

Mr_j : j 室の熱容量（空気+家具） [J/K]

Nr : 全室数

N_{wj} : j 室の構成壁面総数

$Q_{r_{nj}}$: n 室から j 室に流入する空気量 [m³/h]

Q_{o_j} : j 室の外気流入量 [m³/h]

$S_{1,ij}, S_{M,ij}$: j 室 i 壁 1 側，M 側に吸収される正味の短波長放射量 [W]

$[u]_{ij}$: j 室 i 壁に関する後退差分の係数行列（詳細は式 3-10 に記載）

$\alpha_{c(1)ij}, \alpha_{c(M)ij}$: j 室 i 壁面の 1 内側，M 側表面対流熱伝達率 [W/m²K]

$\beta_{li,j}$: j 室 i 壁の l 壁に対する長波長熱交換係数（詳細は式 3-11 に記載）

γ_j, γ_n : j 室，n 室空気の比重量 [kg/m³]

γ_o : 外気の比重量 [kg/m³]

θ_a : 外気温度 [°C]

$\theta_{e_{ij}}$: j 室 i 壁の相当外気温度 [°C]

$\theta_{1,ij}$: j 室 i 壁の表面温度 [°C]

$\theta_{m,ij}$: j 室 i 壁 m 層の温度 [°C]

<壁体の熱伝導解析における境界条件>

$$q(t, m, j) = I + R_0 + R_1$$

$$Q_{out}(t, m) = \left(\sum_{j=1}^{L(t, m)} q(t, m, j) \right) / L(t, m) \quad \cdot \cdot \cdot \text{式 3-8}$$

$$Q_{in}(t, m) = JD_m + JS_m \quad \cdot \cdot \cdot \text{式 3-9}$$

t : 建物番号, m : 面番号, j : 質点番号, N_r : 建物の室数, N_{wj} : j 室の室構成壁面数

$Q_{out}(t, m)$: 建物 t , 外壁面 m において平均化された吸収放射量 [W/m²]

$Q_{in}(t, m)$: 建物 t , 室内表面 m において平均化された吸収日射量 [W/m²]

I : 吸収日射量 [W/m²], R_0 : 大気放射量[W/m²], R_l : 長波長放射量 [W/m²],

$q(t, m, j)$: 建物 t , 外壁面 m , 質点 j における吸収放射量 [W/m²]

$L(t, m)$: 建物 t , 外壁面 m における全質点数

JD_m : 室内表面 m の吸収日射量 (直達日射に由来する成分) [W/m²]

JS_m : 室内表面 m の吸収日射量 (天空・反射日射に由来する成分) [W/m²]

<後退差分法による壁体熱伝導計算のための係数の算出式> . . . 式 3-10

$$[u] = \begin{pmatrix} 1 + u_{1,2} + u_{1,1}u_{1,2} & 0 \\ u_{m,m-1} & 1 + u_{m,m-1} + u_{m,m+1} & u_{m,m+1} \\ 0 & u_{M,M-1} & 1 + u_{M,M-1} + u_{M,M} \end{pmatrix}$$

$$u_{m,m-1} = \frac{\Delta t}{0.5(Cap_{m-1} + Cap_m)} \cdot \frac{1}{Rs_{m-1}} \quad u_{1,1} = v_{(1)}(\alpha_{c(1)} + \beta_{ii,j})$$

$$u_{m,m+1} = \frac{\Delta t}{0.5(Cap_{m-1} + Cap_m)} \cdot \frac{1}{Rs_m} \quad u_{M,M} = \begin{cases} v_{(M)}(\alpha_{c(M)} + \beta_{ll,n}) \\ v_{(M)}\alpha_{0(M)} \end{cases}$$

$$v_{(1)} = \frac{\Delta t}{0.5Cap_1} \quad v_{1,2} = v_{(1)} \frac{1}{Rs_1}$$

$$v_{(M)} = \frac{\Delta t}{0.5Cap_{M-}} \quad u_{M,M-1} = v_{(M)} \frac{1}{Rs_{M-1}}$$

<放射交換行列の計算式> . . . 式 3-11

$$[\beta] = [E]^{-1} \cdot [f]$$

$$E_{ki} = \begin{cases} -\frac{(1-\varepsilon_k)}{\varepsilon_k} F_{ki} & (k \neq i) \\ \frac{1}{\varepsilon_i} - \frac{(1-\varepsilon_i)}{\varepsilon_i} F_{ii} & (k = i) \end{cases} \quad f_{ki} = \begin{cases} -F_{ki} 4\sigma T_{ki}^3 & (k \neq i) \\ \sum_{k=1}^{N_{wj}} F_{ki} 4\sigma T_{ki}^3 - F_{ii} 4\sigma T_{ii}^3 & (k = i) \end{cases}$$

$F_{ki,j}$: j 室 i 壁面から k 壁を見る形態係数 [-]

g : 重力加速度 (9.8 [m/s²])

K_s : 建物全体の壁面総数

Nr : 全室数

Nw_j : j 室の構成壁面総数

Rs_m : 多数壁内, m 層の熱抵抗 [m²K/W]

Tm_{ki} : i 壁と k 壁の平均表面温度 [°C]

Δt : 差分の時間間隔 [s]

$[u]_{ij}$: j 室 i 壁に関する後退差分の係数行列

Vs : 外部風速 [m/s]

$[u]_{ij}$: j 室 i 壁 m 層の温度 [°C]

θr_j : j 室の室温 [°C]

$\alpha_{c(1)ij}, \alpha_{c(M)ij}$: j 室 i 壁面の 1 内側, M 側表面对
流熱伝達率 [W/m²K]

$\beta_{hi,j}$: j 室 i 壁の l 壁に対する長波長熱交換係数

γ_j, γ_n : j 室, n 室空気の比重量 [kg/m³]

$[u]_{ij}$: 外気の比重量 [kg/m³]

ε_{ij} : j 室 i 壁の表面放射率

σ : 黒体の放射定数 (5.67×10⁻⁸[W/m²K⁴])

壁体内の伝熱の取り扱い：

本手法は、算出された建築外表面の受熱量を境界条件とし、壁体内の伝熱量を計算し、室温解析を行う。壁体内の伝熱では、建物の断熱が内断熱か外断熱かによっても、壁体内外の表面温度は異なる。また、ダイレクトゲインシステムのような蓄熱部位を用いるシステムでは、床にじゅうたんやフローリングが敷かれている場合には蓄熱性能が著しく低下することが既往研究から明らかにされており、壁体の断面一次元方向の材料構成が重要となってくる。

そこで本研究では、壁体内の断面方向の熱伝導は一次元として扱い、後退差分により 15 分間のタイムステップ毎に表面温度及び部材内断面温度分布を算出する。式 3-7 に、壁体内温度の計算式を示す。このとき、外壁や内壁の断面構成を計算上再現し、各構成層より細かな分割幅で一次元方向にメッシュ分割している。また、壁体内の断面構成を考慮できるため、その内部における一次元方向の温度拡散も再現され、蓄熱や伝熱タイムラグといった現象の再現も可能である。なお、ダイレクトゲインシステムにおいて部分的に蓄熱部位を配置する場合、蓄熱部位と非蓄熱部位の間での水平方向の熱の移動も想定されるが本研究では室内の表面温度については議論しないこととし、今後の課題とする。

換気の取り扱い：

換気については大きく分けて外部風や温度差によって生じる圧力差が駆動力となる自然換気と厨房等の換気扇による機械換気に大きく分類される。これらの換気の数値解析により予測する手法としては換気回路網計算がよく用いられている。しかし、建築外表面における風圧力は、特に本研究が対象とするような市街地では街区の複雑な気流性状に依存し、風圧力の予測が課題である点、換気回路網計算では上下温度分布を仮定していない点が挙げられるなど課題が多い。

よって、本研究では解析対象を冬季については①外部風速が比較的小さく、風圧力に起因する換気量が小さい、②開口部は閉じており通風は扱わない、③室内のドアは閉じた状態で室間の換気が小さい、④上下温度分布を仮定しない、をすべて満たす状況に限定し、換気が室温変動に及ぼす影響は隙間による換気のみであると仮定した上で換気回数法により各室に適切な換気回数を設定することとする。

3-5 まとめ

冬季の日射熱利用と夏季の日射遮蔽の両立の視点からダイレクトゲインシステムを適用した住宅において、建築外部空間の熱放射環境の予測を行いながらダイレクトゲインシステムの性能を予測する手法を示した。

- (1) 建築外部空間を考慮して冬季の日射熱利用と夏季の日射遮蔽を両立する視点から、建築外部空間の影響を考慮しながら樹木やダイレクトゲインシステムのための開口部、蓄熱部位の検討を行い、ダイレクトゲインシステムの性能を予測するための要件を示し、数値解析手法における課題を挙げた。
- (2) 既往の建築外部空間の熱収支シミュレーションのアルゴリズムにおいてメッシュ分割の範囲を室内表面に拡張することで、室内表面に入射する直達日射分布を算出し樹木や隣棟建物等の建築外部空間の日射遮蔽の影響を考慮してダイレクトゲインシステムの蓄熱性能を把握するための方法を示した。
- (3) 蓄熱部位において日射の吸収を考慮した室温・熱負荷を算出するために、先に算出した直達日射量分布を用いて建築外部空間の日射遮蔽、室内における日射の反射を考慮して室内表面の吸収日射量を算出する方法を示した。
- (4) 建築外部空間の熱放射環境を予測しながらダイレクトゲインシステムの性能予測を行うために、建築外部空間の熱収支シミュレーションにより算出した吸収放射量と室内表面の吸収日射量を建築内外の境界条件とする室温・熱負荷の計算方法を示した。

なお、今回示した方法では開口部や室内のドアを閉じた状況で室温の上下温度分布を仮定しない状況を対象とすることとした。

参考文献

- 3-1) 伊藤直明, 須永修通: ダイレクトゲインシステムにおける熱容量と期間補助暖房量に関する研究, 室内気候調整における熱容量に関する研究(2), 日本建築学会計画系論文報告集, No.397, pp.38-47, 1989
- 3-2) 武政孝治, 小玉祐一郎: 設計支援を目的とするパッシブソーラーシステム性能予測技法の研究-地域特性を反映する気候パターンの作成と検証-, 日本建築学会計画系論文報告集, pp.39-47, 1991
- 3-3) W. Wray and D. Balcomb : Sensitivity of direct gain space heating performance to fundamental parameter variations, Solar Energy, Vol.23, pp.421-425, 1979
- 3-4) A. K. Sharma, A. Kumar and N. K. Bansar : Analysis of the direct gain concept for non-conditioned buildings, Energy Convers. Mgmt, Vol.26, No.2, pp.237-243, 1986
- 3-5) 近藤武士, 射場本忠彦, 坪田祐二, 鎌田元康: 潜熱蓄熱壁体による躯体蓄熱システムに関する研究 潜熱蓄熱ボードの性能把握および適用効果の検討, 日本建築学会計画系論文集, No.540, pp.23-29, 2001
- 3-6) 戸河里敏, 荒井良延, 三浦克広: 大空間における上下温度分布モデル, 大空間の空調, 熱環境計画手法の研究(1), 日本建築学会計画系論文報告集, No.427, pp.9-19, 1991
- 3-7) 例えば, 坂本雄三: 暖冷房消費エネルギー評価プログラム・SMASH, IBEC, No49, pp.25-29, 1988
- 3-8) US Department of Energy : Energy Plus Engineering reference <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/pdfs/engineeringreference.pdf>, 2011.3
- 3-9) 樋口佳樹, 宇田川光弘, 佐藤誠, 木村建一: 建築屋外における日射と長波長計算のモデル-周囲環境を考慮した住宅の熱負荷シミュレーションに関する研究 その 1-, 日本建築学会環境系論文集, No.544, pp.9-15, 2001
- 3-10) 浅輪貴史, 梅干野晃: 屋外の空間形態と構成材料を考慮した建築伝熱シミュレーションモデルの開発, 日本建築学会環境系論文集, No.578, pp.47-54, 2004
- 3-11) 石田建一, 宇田川光弘: 換気および壁面相互ふく射を考慮した多数室室温・熱負荷計算, 日本建築学会計画系論文報告集, No.381, pp.46-55, 1987
- 3-12) 宇田川光弘: パソコンによる空気調和計算法, オーム社, 1986
- 3-13) 稲沼実, 石野久彌: 屋内用横型ブラインドの日射遮蔽係数に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集, No.523, pp.85-91, 1999

- 3-14) 木下泰斗, 赤坂裕, 二宮秀與: ベネシャンブラインドの光学特性計算法, 日本建築学会環境系論文集, No.617, pp.1-8, 2007
- 3-15) 吉澤望, 武田仁: 日射遮蔽物の入射角特性を考慮した熱負荷計算, 日本建築学会環境系論文集, No.640, pp.675-683, 2009
- 3-16) 中大窪千晶, 梅干野晃, 浅輪貴史, 深澤英之: 屋外熱収支シミュレーションにおける建築材料の日射特性を考慮した放射伝熱計算モデルの導入, 日本建築学会環境系論文集, No.625, pp.275-282, 2008
- 3-17) 一ノ瀬雅之, 石野久彌, 郡公子, 永田明寛: 指向特性を考慮した放射伝熱計算法, IBPSA-Japan講演論文集, 2005

第4章 建築内外の設計要素がダイレクトゲインシステムの 性能に及ぼす影響の解析

4-1 はじめに

4-2 性能予測方法の誤差要因が解析結果に及ぼす影響

4-2-1 既往の数値解析手法における検証

4-2-2 性能予測方法の誤差要因

4-2-3 解析条件

4-2-4 解析結果

4-3 ダイレクトゲインシステムの室温変動に及ぼす各種要因の分析

4-3-1 計算ケースの設定

4-3-2 樹木による日射遮蔽が室温の低下に及ぼす影響

4-3-3 室内表面の直達日射量分布が室温に及ぼす影響

4-4 まとめ

4-1 はじめに

3 章では樹木や隣棟建物によって形成される建築外部空間の熱放射環境の予測を行いながらダイレクトゲインシステムの性能を予測する方法を示した。このような建築外部空間の要素が建物の室温やエネルギー消費に及ぼす影響を示した解析についてはいくつかの既往研究が挙げられるが、ダイレクトゲインシステムのような蓄熱部位を配置した建物において、樹木等の建築外部空間を構成する要素の形態や配置が性能に及ぼす影響について明らかにされていない。特に、ダイレクトゲインシステムでは集熱、蓄熱、断熱のバランスによって室温が決まることから、集熱、蓄熱のプロセスを示したうえで、室温への影響を示す必要があるといえる。また、樹木のように冬季の日射熱利用と夏季の日射遮蔽を両立するための対策として位置づけられる構成要素については、樹形や樹高といった空間形態や配置がダイレクトゲインシステムの性能にどのように寄与するかを明らかにすることも重要であると考ええる。

よって本章では、本研究で示した性能予測方法が建築外部空間の熱放射環境を考慮した室温を算出することが可能であることを示すために、あらかじめ 3 章で提案した性能予測方法が持つ誤差要因を示したうえでその解析結果への影響を分析し誤差範囲を示す。さらに建築外部空間の要素として樹木に着目し、日射熱取得、蓄熱部位の吸収日射量と室温の関係を分析することで樹木がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響を示し、3 章で示した性能予測方法の有効性を確認する。

4-2 性能予測方法の誤差要因が解析結果に及ぼす影響

4-2-1 既往の数値解析手法における検証

本研究では建築外部空間の熱収支シミュレーションと建物熱負荷計算を連成させ、室内表面に入射する蓄熱部位の吸収する日射量を予測するために、室内表面に入射する直達日射量を建築外部空間の熱収支シミュレーションと同時に解析し、室温の予測を行っている。

建物熱負荷計算については、宇田川ら⁴⁻²⁾、長谷川ら¹⁻⁶⁾等によって熱負荷計算のモデルの有効性と誤差範囲が明らかにされている。宇田川ら⁴⁻²⁾は暖房期3か月間の実験住宅の実測により、実測値と計算値の標準誤差は1℃~1.5℃であると報告しており、その要因として室内入射日射の取り扱いを挙げている。また、長谷川ら¹⁻⁶⁾もダイレクトゲインシステムのための試験家屋の実測と建物熱負荷計算の比較から、日中に計算値と実測値で最大5℃程度の誤差を生じており、原因として材料の物性値の推定や透過日射の分配の方法を挙げている。また、建築外部空間の熱放射環境の違いが室温、熱負荷に及ぼす影響としては、浅輪ら³⁻¹⁰⁾が建築外部空間の熱収支シミュレーションと建物熱負荷計算の連成過程における誤差を抽出し、その室温への影響を明らかにしている。

よって、建築外部空間の熱収支シミュレーションと建物熱負荷計算の双方において精度が確認されていることから、本研究では3章で示した性能予測方法において、既往手法からの改良点に存在する誤差要因を示したうえでその解析結果への影響を感度解析により明らかにしていく。

4-2-2 性能予測方法の誤差要因

本研究で示した性能予測方法では既往研究で精度が確認されている建築外部空間の熱収支シミュレーションと建物熱負荷計算の連成方法に改良を行い、室内表面が吸収する日射量をレイトレーシング法によって算出している。通常レイトレーシング法においてメッシュ毎の直達日射量の算出結果については原理的に正確であると考えられるが、建物熱負荷計算における面毎の室内表面の吸収日射量の算出結果は空間分解能によって差を生じることが想定される。よって、本研究ではこの点を感度解析によって明らかにする。

空間分解能については、既往の熱収支解析では建物廻り～街区レベルのスケールの建築外部空間の熱放射環境の予測・評価を対象としていることから、200-500mmの空間分解能として解析してきたが、内壁で仕切られた室レベルのスケールの室温・熱負荷の予測に対して、この空間分解能による誤差が解析結果に及ぼす影響は大きいと予想される。そこで本研究では通常の空間分解能 200mmと、現在の計算負荷で現実的と考えられる 100mmの空間分解能においてそれぞれの部位の局所的な誤差が解析結果に及ぼす影響を要素別に明らかにする。

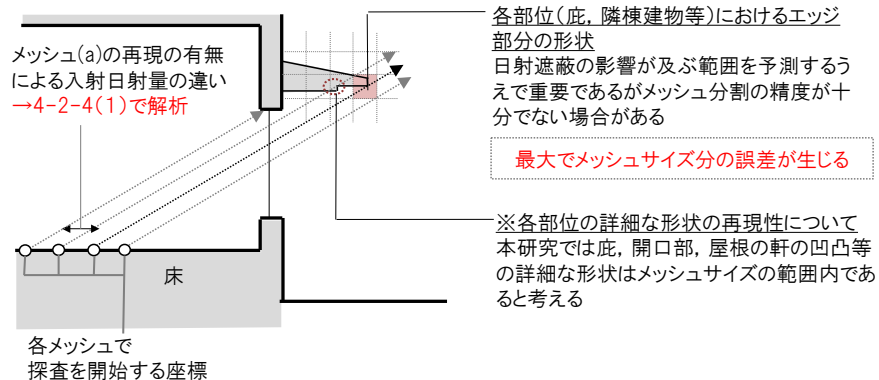
空間分解能に起因する誤差要因としては、①再現したい形状に対してメッシュ分割の精度が十分でない点と②室内表面に投影された直達日射量の分布の再現性の問題の双方が含まれている。また、形状の再現性に起因する誤差要因として開口部や庇における微小な凹凸のような詳細な形状の影響も想定される

再現したい形状に対してメッシュ分割の精度が十分でない点として、開口部、庇、蓄熱部位、隣棟建物のそれぞれのエッジの部分においてメッシュの分割の精度が十分でなく、最大で1メッシュ分の誤差が算出する直達日射の分布に生じることが挙げられる。

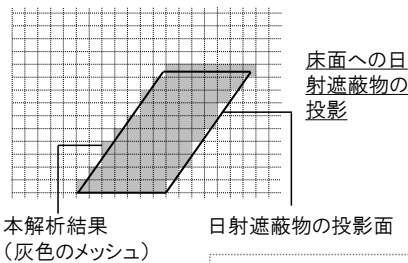
このような開口部の幅、庇の出、蓄熱部位の面積、隣棟建物の高さといった部位に生じる空間の再現性に起因する誤差は1メッシュ分の誤差でも、開口部からの日射熱取得と蓄熱部位の吸収日射量に及ぼす影響は大きく、室温変動に与える影響を確認していく必要があると考える。

以上から、本研究では空間の再現性に1メッシュ分の誤差が生じた状況を想定し、特に日射熱取得に対して誤差影響の大きい開口部、庇、隣棟建物と蓄熱部位を対象として解析を行っていく。なお、開口部や庇における微小な凹凸のような詳細な形状の影響については1メッシュ分の誤差の範囲内にあると考える。

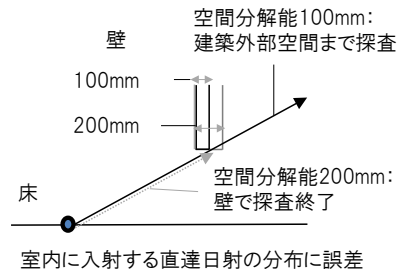
①再現したい形状に対してメッシュ分割の精度が十分でない



②投影面の多角形が正方形のメッシュの集合で表される

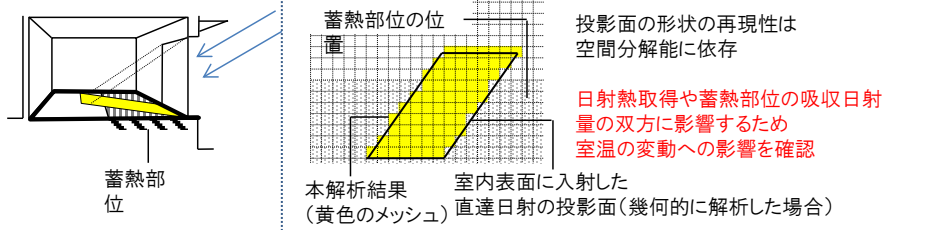


③壁の厚さによる誤差



②③については4-2-4(2)で解析

(2)室内表面に投影された直達日射量の分布の再現性の問題



本研究での解析

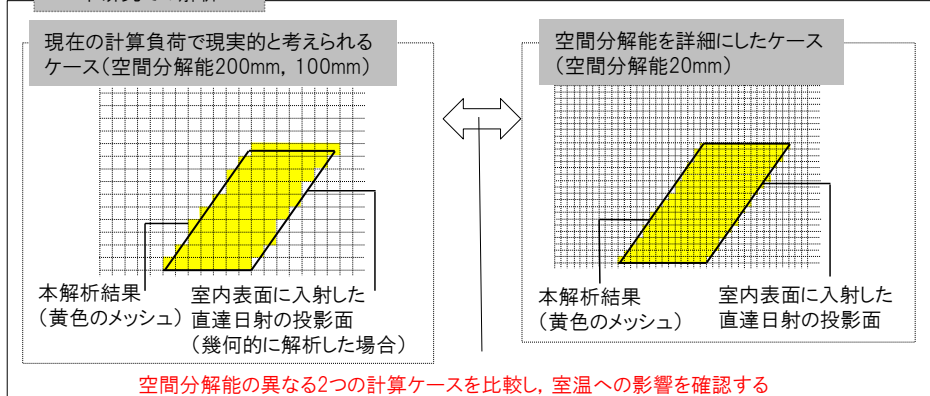


図 4-2 提案した性能予測方法に存在する誤差要因とその室温への影響の解析方法

また、他にも空間分解能による多角形の投影面が正方形のメッシュの集合で表現されることや壁の厚さの再現性も誤差要因となりうる（図 4-2）ことから、通常空間分解能 200mm と現在の計算負荷で現実的と考えられる 100mm それぞれについて空間分解能 20mm の解析結果との比較を行う。

なお、他にも既往手法との相違として、室内表面に入射する直達日射の探査の始点が異なる（既往手法：外壁等の外表面、本手法：床等の室内表面）であり各室の日射熱取得の値に差が生じることも挙げられる。この差を解消するためには本手法で算出した日射熱取得を外表面の受熱日射量に基づき算出された日射熱取得量（既往手法）で補正することも考えられるが本研究では室温に与える影響は小さいとし、補正しない値で解析を行う。

4-2-3 解析条件

（１）解析用建物モデルの基本型

解析対象とする建物の基本型は日本建築学会の戸建住宅の標準問題⁴⁻²⁾に基づき作成する。ダイレクトゲインシステムでは、南北や東西に細長いボリュームも想定できるが、ボリュームのプロポーションは敷地の条件や設計条件により様々となることが想定されるため、正方形に近い標準問題の居室を想定している。なお、ダイレクトゲインシステムの日射熱取得を想定した改良点として、居室には南に面した大面積の開口部と蓄熱部位を配置し、夏季への対策として、居室の開口部部分には 0.8m の出の庇を設置する。

居間については日射熱取得の誤差が室温に及ぼす影響の生じやすい場合を想定し、居間の床面の南西側 4 分の 1 に蓄熱部位を配置している。蓄熱部位はコンクリートとし、その厚さは既往研究³⁻¹⁾で示されている値を参考に 150mm とし、蓄熱部位に十分に日射が吸収できるよう表面はタイル仕上げ（日射反射率 0.2）とする。建物周辺の地表面の材料は乾燥裸地とし、日射反射率は 0.2 と設定した（表 4-1）。

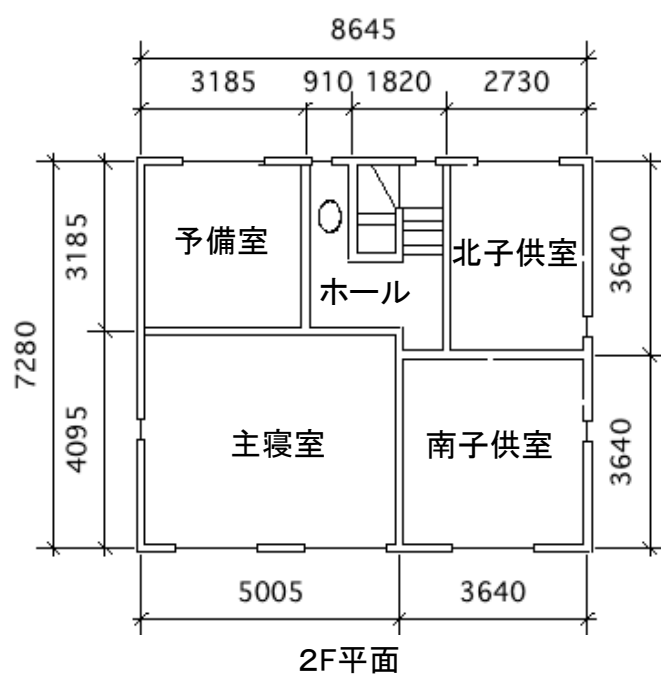
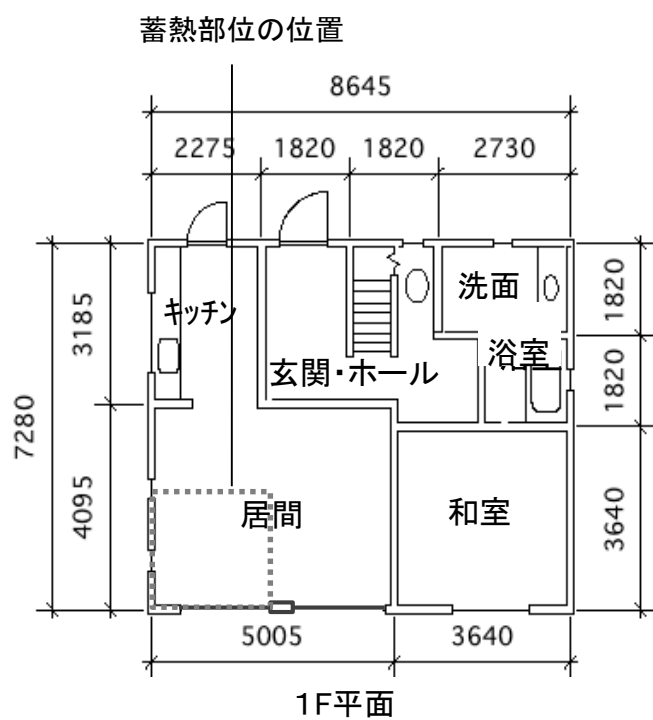


図 4-2 感度解析に用いる建物の基本型の平面図

表 4-1 建物および地面の断面構成と熱物性値

部位	構成材料 (室内側から)	熱伝導率 [W/m・K]	容積比熱 [kJ/m ³ ・K]	日射反射率 [-]	長波長放射 率[-]	断面厚 [mm]
外壁	石膏ボード	0.17	1030	0.4	0.95	12
	断熱材	0.04	20	-	-	100
	空気層	R=0.09m ² K/W		-	-	30
	合板	0.19	715	-	-	9
	モルタル	1.51	1600	0.2	0.9	30
屋根	石膏ボード	0.17	1030	0.4	0.95	12
	断熱材	0.04	200	-	-	100
	空気層	R=0.09m ² K/W		-	-	140
	合板	0.19	715	-	-	12
	スレート	1.2	1830	0.2	0.9	12
開口部	透明ガラス	0.17	1910	0.08	0.94	3
	空気層(複層ガラス)	R=0.05m ² K/W		-	-	6
蓄熱部位	透明ガラス	0.17	1910	0.08	0.94	3
	タイル	1.4	2000	0.2	0.9	5
	コンクリート	1.5	1940	-	-	150
	ポリスチレンフォーム	0.04	40	-	-	50
	土	1.05	3340	-	-	400
1階床	床板(合板)	0.16	800	0.4	0.9	10
	合板	0.19	715	-	-	12
	断熱材	0.04	200	-	-	45
	空気層	R=0.09m ² K/W		-	-	400
	土	1.05	3340	-	-	400
2階床	カーペット	0.07	171	0.4	0.9	60
	合板	0.19	715	-	-	12
	空気層	R=0.09m ² K/W		-	-	45
	石膏ボード	0.17	1030	0.4	0.95	400
地面	裸地(乾燥状態)	1.6	3340	0.2	0.9	1000

（２）数値解析における解析条件

気象条件は冬季晴天日として標準気象データ（空気調和・衛生工学会，空調設備基準委員会作成）の東京のデータより，標準年 1 月 23 日のものを用いる（図 4-3）。なお，本章では室内表面に入射する直達日射量の分布が室温変動に及ぼす影響を予測するために提案した 3 章の性能予測手法の有効性を示すため，南鉛直面からの日射熱取得量が大きく，蓄熱部位への日射の照射に対する樹木や隣棟建物への日射遮蔽の影響が顕著で，室内の広範囲に及ぶ冬季晴天日を対象としている。

また，晴天日が連続し，蓄熱が室温変動に与える影響が顕著な状態を仮定し，計算は 4 日間助走計算させ，5 日目の結果を周期定常解として採用している。内部発熱は上記の標準問題の計算条件と同様とし，空調の設定は行わず自然室温とする。

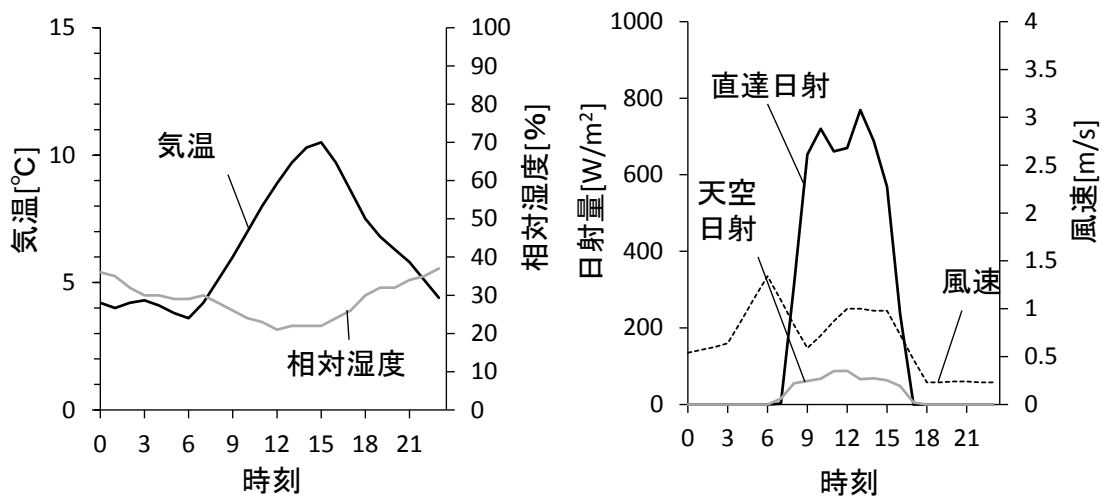


図 4-3 入力気象データ

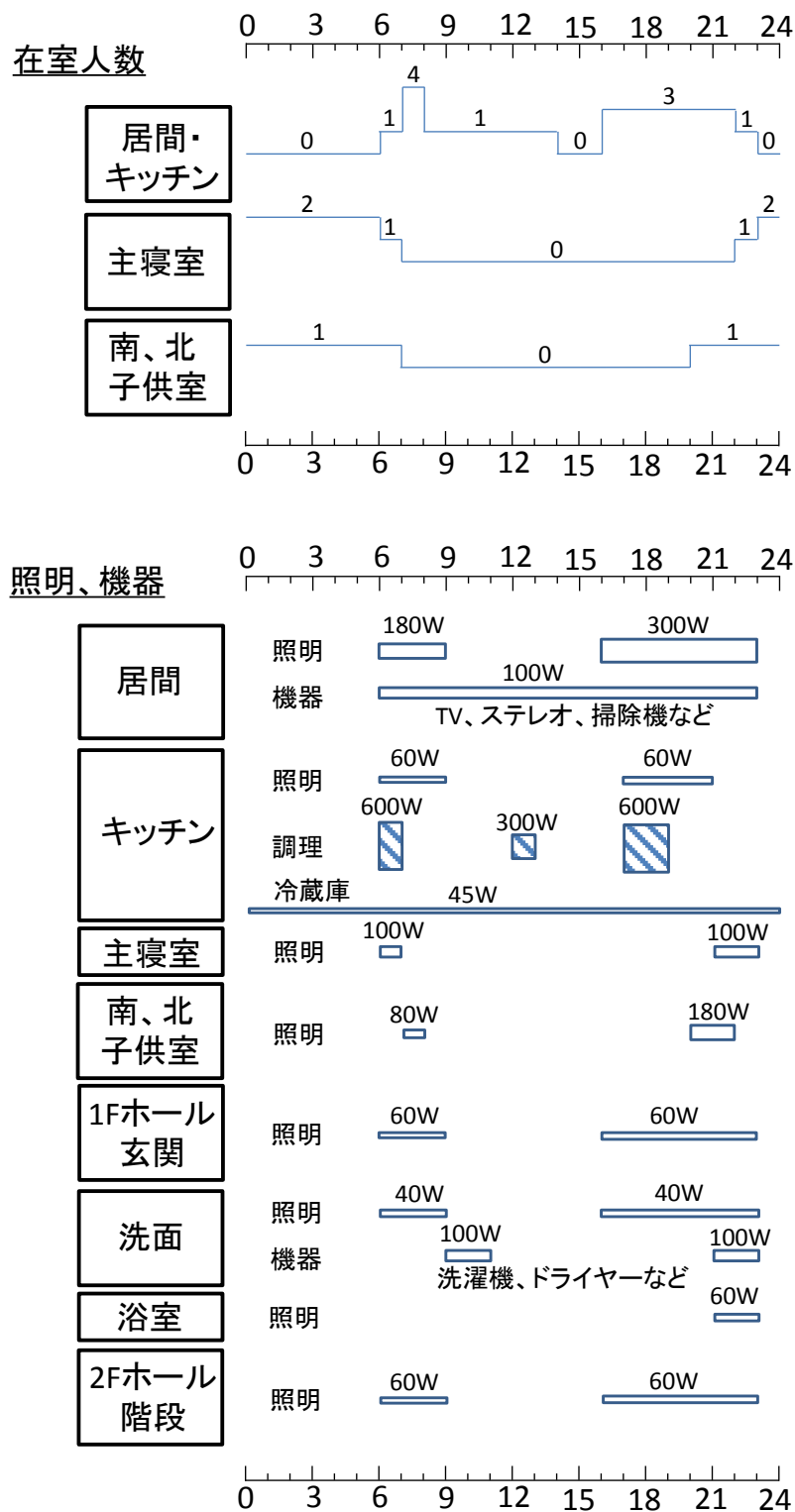


図 4-4 日本建築学会標準問題に基づく内部発熱の設定

（３）解析のための計算ケース

開口部，庇，蓄熱部位については空間形態の再現性に局所的な誤差に関する感度解析として，建物の基本型を 200mm, 100mm の空間分解能で解析する計算ケース (N-200, N-100) に対して，空間分解能に応じて誤差が出た状況を仮定し，比較を行う。図 4-5 に感度解析で比較を行う計算ケースを示す。

まず，開口部の幅に関する誤差として居間の南側開口部の幅を空間分解能に応じて 200mm, 100mm 小さくした計算ケース N-Win200, Win100 を設定する。庇の出についても同様に N-200, N-100 よりそれぞれ 200mm, 100mm 長い計算ケースを想定する。蓄熱部位の設置面積については図 4-5 に示すように蓄熱部位の幅と奥行きがそれぞれ 100mm, 200mm 大きくなったケース N-AC200, N-AC100 を設定し比較した。

また，隣棟建物については比較のための計算ケースとして隣棟がある状況を想定し，100mm と 200mm での計算を行い（図 4-5 (C) の AD-100, AD-200），その次に隣棟建物の高さが各々の空間分解能に応じて異なる計算ケース（図 4-5(C) の AD-H100, AD-H200）を設定し，比較を行った。解析対象日において隣棟建物の影の端が開口部上に到達するよう，隣棟建物との距離を南北 8m，東西 5m とし，解析対象の建物の周囲に配置する。

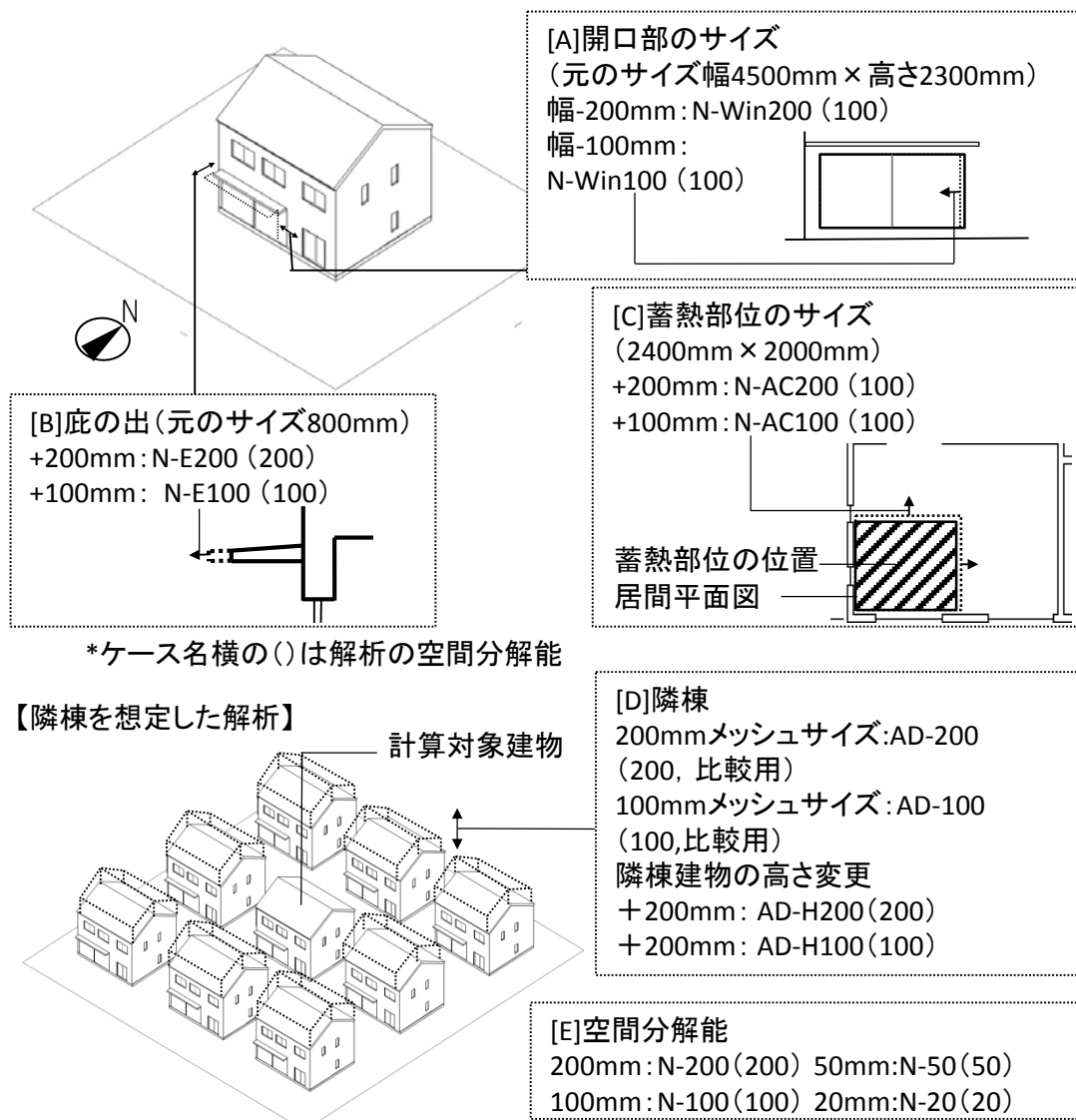


図 4-5 感度解析に用いる計算ケース

4-2-4 解析結果

(1) 開口部，庇，蓄熱部位，隣棟建物の再現性が室内の透過日射量と室温に及ぼす影響

表 4-2～表 4-5 に誤差要因が室内の透過日射量，蓄熱部位の受熱日射量，室温に及ぼす影響を示す。

まず基準となる計算ケース (N-200, N-100) と庇の出が変わったケース (N-H200, N-H100) を比べた場合，図 4-6 に示すように 7 時から 17 時にわたって室内に透過する直達日射量が減少している。特に日射量が大きく，太陽高度の高い 12 時～14 時ごろに差が顕著で，空間分解能 200mm の場合，直達日射量の差が最大で 332W，室温差が 1.1℃となる。

一方で開口部の幅については，横長の窓の長手方向に応じて日射遮蔽の影響が及ぶ庇に対して開口部の幅は開口部の短手方向に応じて日射熱取得に影響が及ぶため，開口部の幅によって生じる室内に透過する直達日射量と室温の誤差は庇に比べて小さくなっている。

表 4-2 感度解析結果（庇の出，開口部の幅が異なる場合）

	室内に透過する 直達日射量の差		室内に透過する 天空・反射日射量の差		室温の差	
	最大[W] (時刻)	平均 [W]	最大[W] (時刻)	平均 [W]	最大[℃] (時刻)	平均 [℃]
[N-E200]-[N-200]	-332 (13:00)	64	-13 (11:45)	4	-1.1 (14:15)	0.6
[N-E100]-[N-100]	-195 (12:45)	37	-8 (11:30)	2	-0.6 (14:30)	0.3
[N-Win200]-[N-200]	-209 (14:15)	47	-11 (12:30)	3	-0.6 (15:15)	0.4
[N-Win100]-[N-100]	-96 (14:45)	15	-1 (10:45)	0.1	-0.4 (15:00)	0.2

*平均はそれぞれの差の絶対値に対する平均値

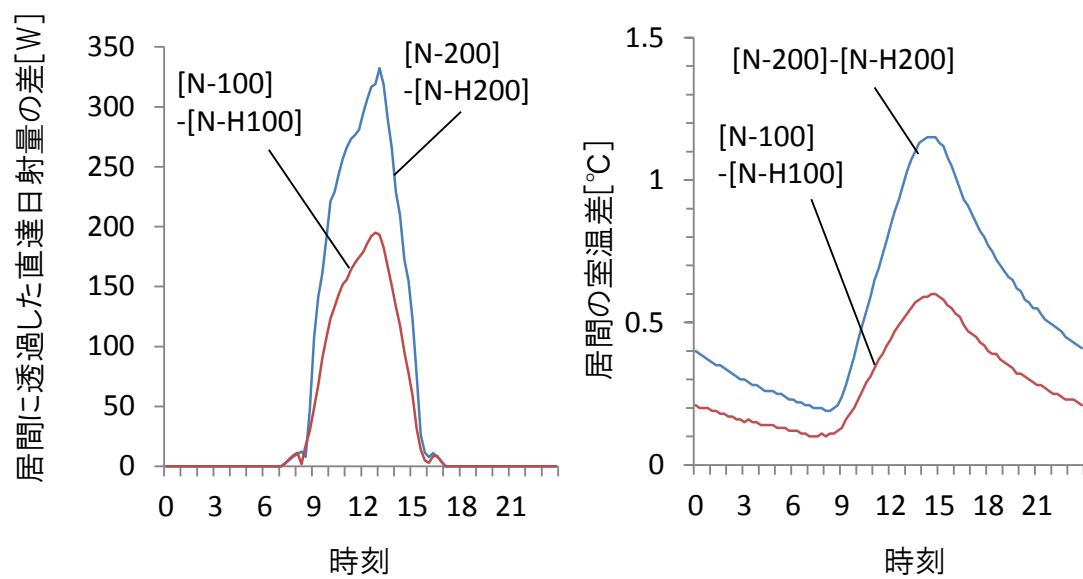


図 4-6 庇の出の違いが居間に透過した直達日射量，室温に及ぼす影響

次に、隣棟建物のない状況と隣棟建物ある状況の比較としてN-100、AD-100における居間に透過した日射量と室温の変動をそれぞれ図 4-7 に示す。隣棟建物を想定したAD-100では12時前後に南側建物から日射遮蔽を受けるだけでなく、9時までと15時以降に東西と南側の建物による日射遮蔽の影響を受け、居間に透過する直達日射量は日積算値で隣棟建物内N-100の約4割となっている。また、AD-100の室温はN-100と比べて最大で9℃小さくなっており、室温変動も6℃小さくなっている。

以上を踏まえ、隣棟建物の高さが変わった場合の居間に透過する直達日射量と室温への影響に着目すると、空間分解能 200mmにおける室内に透過する直達日射量の差は最大で452Wと庇に比べて大きい変動であるが、室温差 0.9℃であり、庇よりやや小さい。これは隣棟建物のある解析ケースにおいて室温変動の幅がN-200に比べて小さくなったためと考えられる。

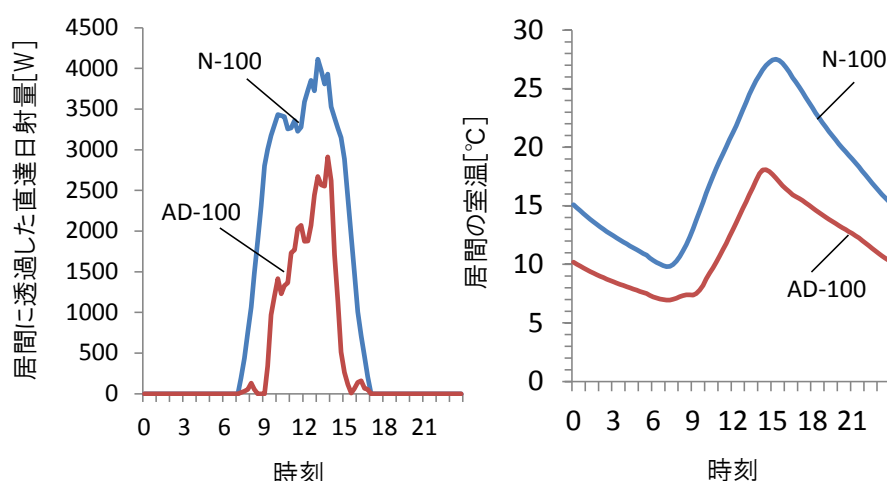


図 4-7 隣棟建物の有無が居間に透過した直達日射量，居間の室温に及ぼす影響

表 4-3 感度解析結果（隣棟建物高さが異なる場合）

	室内に透過する直達日射量の差		室内に透過する天空・反射日射量の差		室温の差	
	最大[W] (時刻)	平均[W]	最大[W] (時刻)	平均[W]	最大[°C] (時刻)	平均[°C]
[AD-H200]-[AD-200]	-452 (12:15)	48	-6 (13:45)	0.8	-0.9 (14:45)	0.4
[AD-H100]-[AD-100]	-308 (11:30)	38	-3 (14:00)	0.4	-0.6 (13:15)	0.3

*平均はそれぞれの差の絶対値に対する平均値

さらに、蓄熱部位の面積が変わった場合の影響として感度解析結果を表に、図 4-8 に 200mm, 100mmそれぞれの分解能における蓄熱部位の吸収日射量と室温の差を示す。蓄熱部位の面積が変わった場合、その面積に応じて吸収日射量が増加し、12 時前後にその差が最も大きくなり 200mmの場合 230W, 100mmの場合 98Wとなっている。一方で室温変動については吸収日射量の差の大きい 200 mmのほうが室温の差が顕著であるが、室温の差の大きいのは室温が最大、最小となる 7 時ごろ、15 時ごろであり、室温の変動の差は空間分解能の高い 200mmでも 0.3℃程度となっている。

以上から各要素と基準となるケースを比較した際の室温差は最大で 0.4℃～1.1℃となる。同様に 100mmの場合は 0.2℃～0.6℃となる。このうち室温差への影響が大きいものは底と隣棟建物であり、空間分解能 200mmにおける室内に透過する直達日射量の差の最大値がそれぞれ 332W, 452Wと開口部の幅の違いに比べて相対的に大きい。この傾向は空間分解能 100mmの場合も同様である。

表 4-4 感度解析結果（蓄熱部位の面積が異なる場合）

	蓄熱部位の 受熱日射量の差		室温の差	
	最大[W] (時刻)	平均 [W]	最大[℃] (時刻)	平均 [W]
[N-AC200]-[N-200]	230 (11:30)	48	-0.4 (14:00)	0.3
[N-AC100]-[N-100]	98 (11:45)	20	0.2 (5:45)	0.1

*平均はそれぞれの差の絶対値に対する平均値

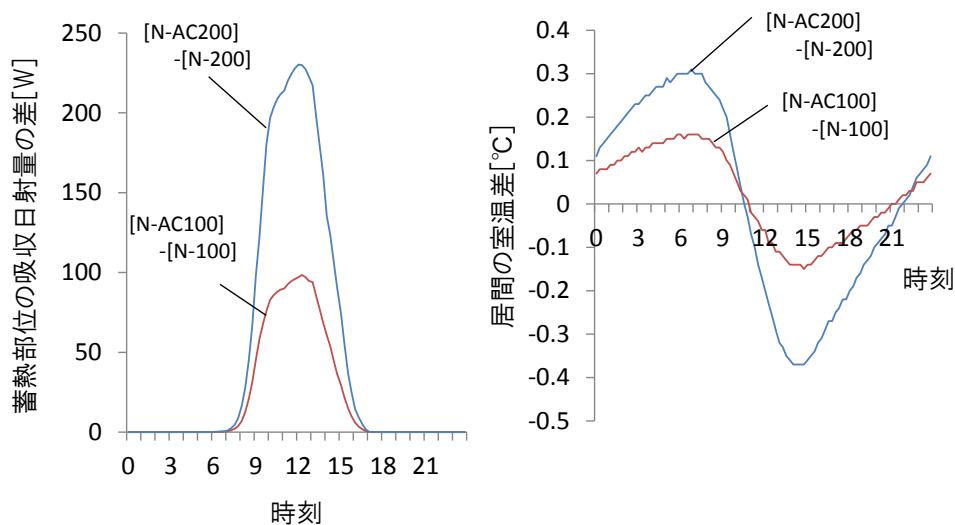


図 4-8 蓄熱部位の面積が居間に透過した直達日射量，居間の室温に及ぼす影響

（２）空間分解能が室内の透過日射量と室温に及ぼす影響

図 4-5 に示すように、空間分解能を 200mm, 100mm としたとき（N-200, N-100）の室内の透過日射量の計算の誤差が室温に及ぼす影響を示すため、空間分解能がより詳細な 50mm, 20mmの計算結果（N-50, N-20）との比較を行う（表 4-5）。

空間分解能が異なる場合、解析結果に生じる差としてはメッシュの格子に対して斜めの形状となる投影面の再現性が想定され、図 4-9 のように床の直達日射量の入射日射量の分布にも差異が生じている。また、以上を踏まえて空間分解能の違い 200mmの空間分解能で計算したN-200 では、室内に透過した直達日射量は空間分解能 20mmのN-20 に比べ、最大 350W大きく、室温は最大 0.6℃高い。一方で、100mmで計算した場合には 20mmで計算した場合との差の最大値は、直達日射量が 242W、室温は 0.3℃であった。

また、解析対象日が晴天日であり直達日射量に対する天空日射量の割合が小さいこと、建築外部空間の日射反射率が小さいことから、室内に透過する天空日射、反射日射に生じる差は合計値で直達日射量の 10 分の 1 以下となっている。

以上の感度解析より、200mmの計算では室温の結果に最大で 1℃以上の影響を及ぼす場合のあることが確認できる。100mmの計算では、それが 0.6℃以内にまで抑えられるため、以後の解析では、これをメッシュ分割に伴う誤差範囲と位置づけ、空間分解能は 100mmとして計算を行うこととする。

ただし、室の容積に対して開口部の面積が大きく空間分解能によって生じる誤差が顕著となる場合は 100mm未満の分解能での計算や、直達日射計算の空間分解能を天空日射、反射日射より細かくし、異なる分解能で計算負荷を抑えた解析を行うことも想定される。

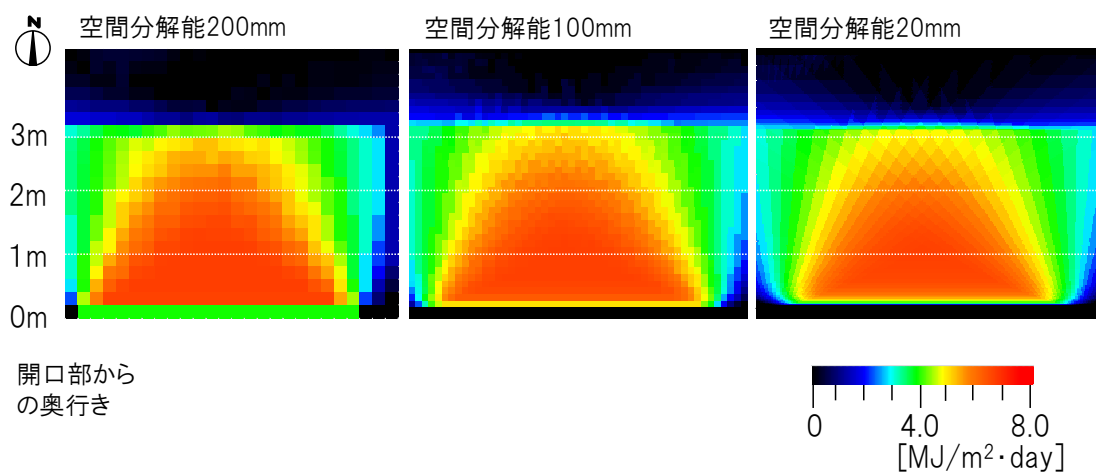


図 4-9 空間分解能の違いが室内表面への日射の照射に及ぼす影響
(居間の床に入射する直達日射量分布(日積算値)の各分解能における解析結果)

表 4-5 空間分解能の違いが室内に透過する日射量・室温に及ぼす影響の感度解析結果

	室内に透過する 直達日射量の差		室内に透過する 天空・反射日射量の差		室温の差	
	最大[W] (時刻)	平均 [W]	最大[W] (時刻)	平均 [W]	最大[°C] (時刻)	平均 [°C]
[N-200]-[N-20]	-352 (13:45)	49	-21 (11:45)	6	-0.6 (16:15)	0.3
[N-100]-[N-20]	-242 (12:00)	31	-7 (11:45)	2	-0.3 (10:15)	0.1
[N-50]-[N-20]	-136 (12:30)	16	-4 (11:45)	1	-0.1 (12:45)	0.01

*平均はそれぞれの差の絶対値に対する平均値

4-3 ダイレクトゲインシステムの室温変動に及ぼす各種要因の分析

本章では提案した手法によって建築外部空間に配置した樹木の影響を考慮してダイレクトゲインシステムの性能を予測していることを確認するために、建築外部空間の樹木と蓄熱部位のことなるパターンを設定し、各パターンにおける日射熱取得、蓄熱部位の受熱日射量と室温の関係を分析する。また、建築外部空間の空間形態、蓄熱部位の配置や面積の関係によって蓄熱部位の受熱日射量が異なることから、室内の蓄熱部位の配置にもパターンを設定し分析を行う。

4-3-1 計算ケースの設定

建築外部空間のパターンの設定は、冬季の日射熱取得と夏季の熱放射環境の改善を両立した対策として、樹木を建物の南面に配置したモデルを設定する。図 4-10 に建築外部空間のパターンを示す。本解析では冬季の日射熱取得と夏季の熱放射環境の改善のバランスを考えた工夫として樹高、樹冠下高さ等の樹形や樹木の配置による工夫、落葉樹の適用を想定し、樹木の樹高・配置、日射透過率を変えたモデルT5d、T5e、T10 をそれぞれ設定し、冬季の室温の低下への影響を確認する。また、比較用に樹木の配置がないモデルNも設定する。なお、本解析では樹木の日射遮蔽効果がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響を確認するため、隣棟建物は設定していない。

T5d、T5eは樹木の配置として樹高 5mの樹木を 3 本配置したモデルであり、室内への透過日射が樹木によって遮られ、蓄熱部位への日射の照射に部分的に影響を与える状況を想定している。T5dについては樹木の配置、形状による影響が顕著となる状況として常緑樹（日射透過率 0.1）を想定したモデル、T5dはT5eと樹木の配置・形状は同様であるが冬季の日射取得を考慮し、落葉樹（日射透過率 0.8）を想定している。T10 は設置した開口部に対して冬季の日射遮蔽の影響が少なく、夏季にできるだけ広範囲の建築外部空間に日射遮蔽を行うための樹木として、比較的樹高（10m）と葉張り（7m）の大きい常緑樹を想定している。樹木の日射遮蔽モデルについては建築外部空間の熱環境シミュレーション¹⁻¹⁸⁾と同様のものを用いる。

建物モデルについては先の感度解析と同様の理由から日本建築学会標準問題に基づいたモデルとした。ただし、建築外部空間の空間形態と蓄熱部位の配置の関係によって蓄熱部位の受熱日射量が変えることから室内の蓄熱部位の配置のパターンとして図 4-11 のA0～A3を設定する。A1 は蓄熱部位を床全面に配置しているモデルで、A2、A3 は蓄熱部位の面積の違いが室温変動に及ぼす影響を確認するためのモデルである。蓄熱部位の位置が室温

変動に及ぼす影響を確認するためにA2 とA3 は位置が異なり、A2 は南半分への配置、A3 は西半分への配置としている。A0 は比較用のモデルで蓄熱部位を配置していない。

本研究では樹木の配置、樹高、日射透過率の異なるN, T5d, T5e, T10 のそれぞれに対して、建築外部空間と室内を組み合わせた 16 個の解析ケースを作成し比較する。個々の解析ケースはN・T1 のように示す。気象条件は冬季晴天日で、樹木による日射遮蔽が室温変動に及ぼす影響の大きい日として標準気象データ（空気調和・衛生工学会，空調設備基準委員会作成）の東京のデータより、標準年 1 月 23 日のものを用いる。内部発熱は戸建て住宅の標準問題⁴⁻³⁾に基づき設定し、換気回数も同様に全室 0.5 回/hとして設定した。

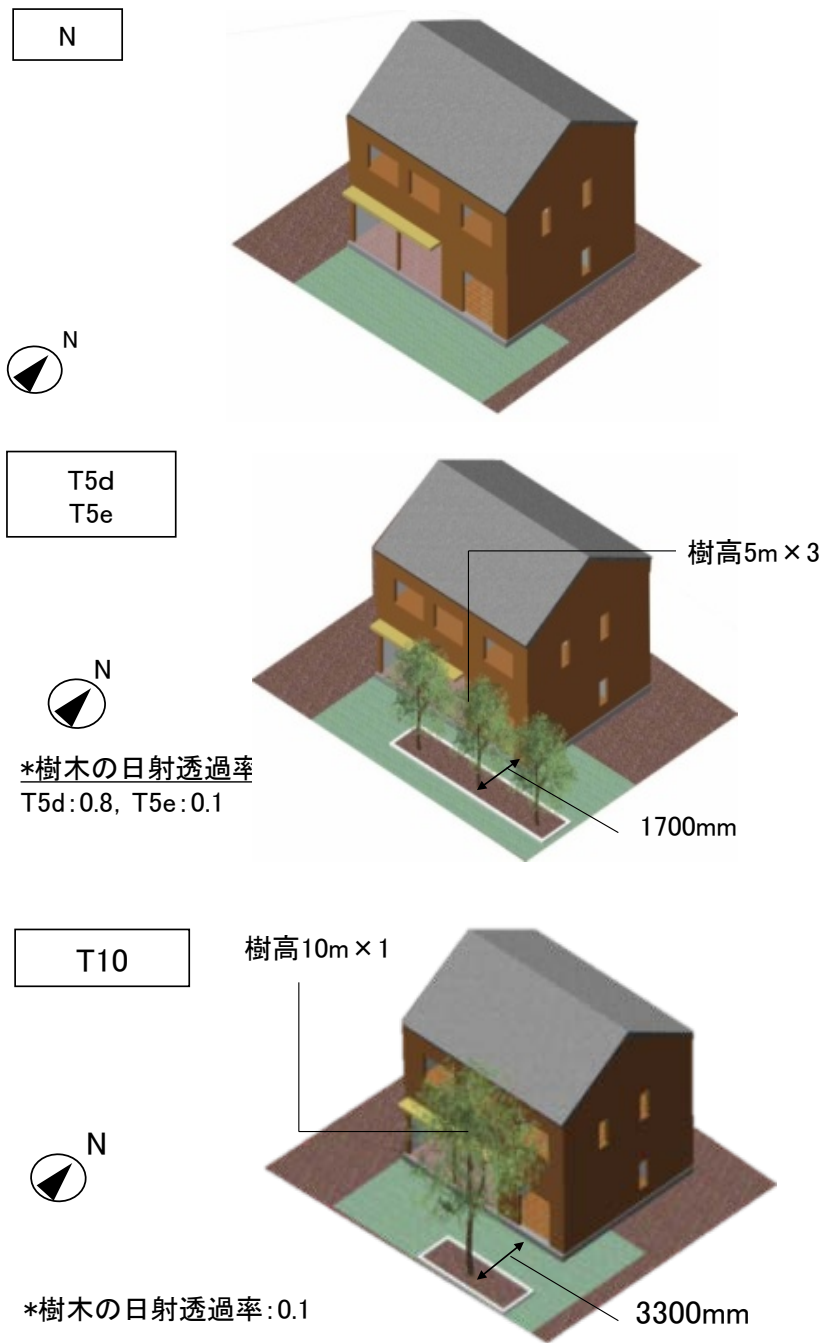


図 4-10 建築外部空間のパターン

居間における蓄熱部位の配置

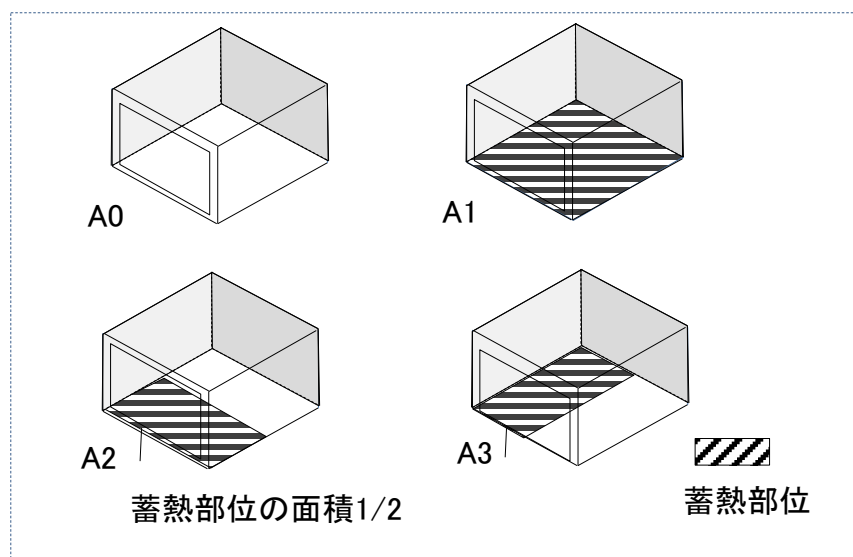


図 4-11 居間における蓄熱部位配置のパターン

表 4-5 建築外部空間と室内の蓄熱部位の配置の組み合わせによる
計算ケース

計算ケース名	建築外部空間のパターン	室内の蓄熱部位の配置パターン
N-A0 N-A1 N-A2 N-A3	N(樹木無)	A0(蓄熱部位無) A1(蓄熱部位床全面) A2(蓄熱部位南半分) A3(蓄熱部位西半分)
T5d-A0 T5d-A1 T5d-A2 T5d-A3	T5d(樹高5mの樹木3本, 日射透過率0.8)	A0(蓄熱部位無) A1(蓄熱部位床全面) A2(蓄熱部位南半分) A3(蓄熱部位西半分)
T5e-A0 T5e-A1 T5e-A2 T5e-A3	T5e(樹高5mの樹木3本, 日射透過率0.1)	A0(蓄熱部位無) A1(蓄熱部位床全面) A2(蓄熱部位南半分) A3(蓄熱部位西半分)
T10-A0 T10-A1 T10-A2 T10-A3	T10(樹高10mの樹木1本, 日射透過率0.1)	A0(蓄熱部位無) A1(蓄熱部位床全面) A2(蓄熱部位南半分) A3(蓄熱部位西半分)

4-3-2 樹木による日射遮蔽が室温の低下に及ぼす影響

樹木の配置，樹高，日射透過率の違いが室温変動に及ぼす影響を示す。図 4-12 はN-A1, T5d-A1, T5e-A1, T10-A1 の外表面における入射日射量分布（日積算値）を，図 4-13 は各計算ケースの開口部からの日射熱取得と室温変動を，図 4-14 は 10 時の表面温度分布を示している。

まず，建物外表面の受熱日射量分布と表面温度分布に及ぼす影響に着目すると，樹高 5m の常緑樹が 3 本あるT5e-A1 は日射遮蔽の影響を午前中に受け，10 時にはその影響が南側壁面の約半分に及び，室の日射熱取得はN-A1 に比べて 38%減少し，外壁の表面温度は最も低い場所で気温と同等になっている。一方で，落葉樹を想定し，日射透過率を 0.8 としたT5dでは，N-A1 と比べた 10 時における日射熱取得の減少幅は 11%にとどまり，南側壁面の表面温度は日射遮蔽の影響が最も顕著な外壁表面においても気温より 15℃高い。また，樹高が 10mあり，樹冠下高さを高くしたT10-A1 では，日射遮蔽の影響が 2 階の南側壁面と屋根，居間の開口部の東側の広範囲に及び，日射遮蔽によるN-A1 と比べた日射熱取得の減少もT5dと同等である。また，10 時の表面温度は日射遮蔽の影響が最も表れている建物西側上部で，気温相当となっている。

次に樹木の配置，樹高，日射透過率の違いによる居間の日射熱取得の違いが室温に及ぼす影響に着目すると，T5e-A1 は常緑樹の日射遮蔽により居間の開口部の東側半分で日射遮蔽の影響が顕著であるが，樹木のないN-A1 に比べて開口部の日射熱取得の減少は日積算値で 23%であり，室温は最大で 4℃低下している。一方で，室温が最小となる朝 7 時に着目すると，T5e-A1, T5e-A2, T5e-A3 では常緑樹の日射遮蔽により，樹木のない場合に比べ室温は 1℃低い。また，蓄熱部位の配置のないT5e-A0 と比べて 2～3℃高い。樹木の日射透過率の高いT5d-A1 や樹冠下高さの高いT10-A1 では，N-A1 に比べてそれぞれ開口部の日射熱取得は日積算で 4%，8%の減少にとどまり，室温の低下も日中に最大で 1，2℃である。

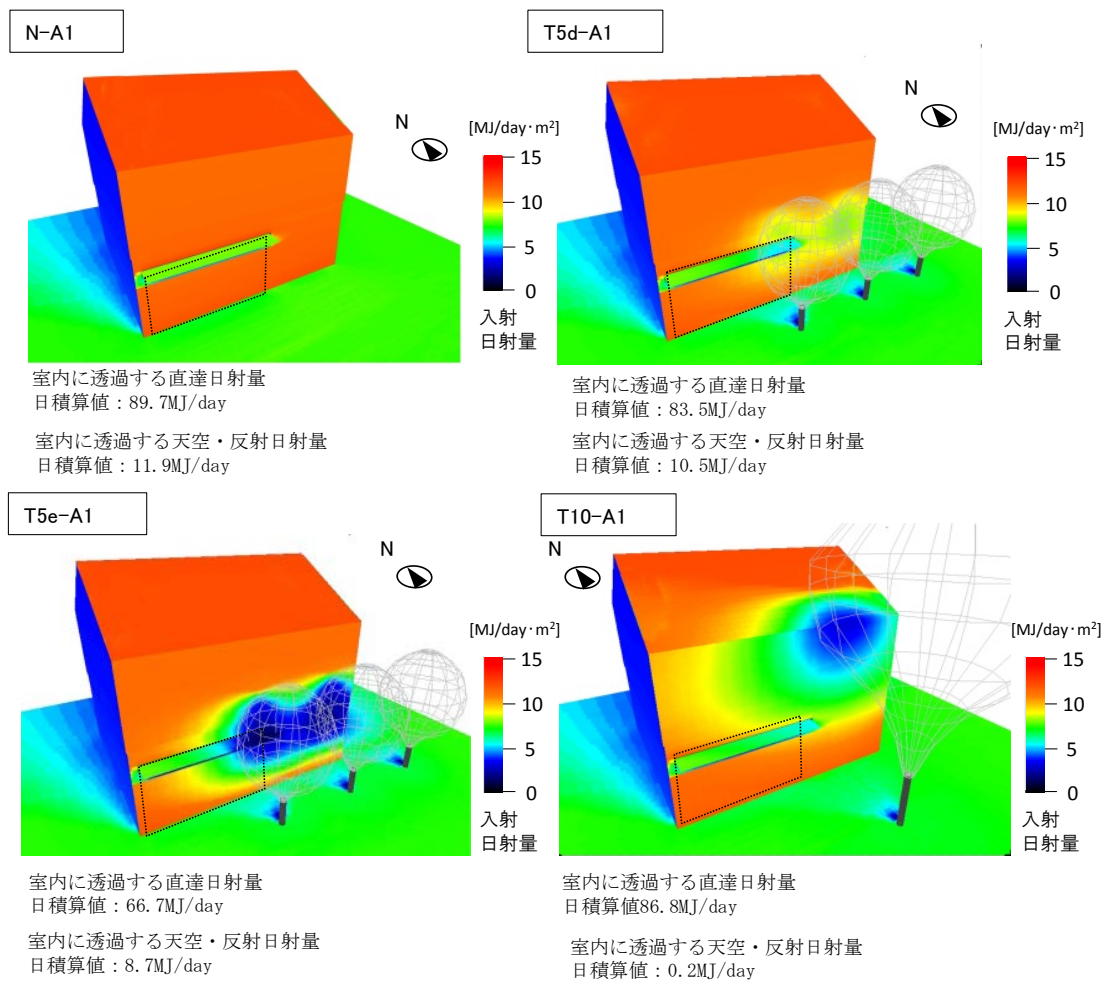


図 4-12 各パターンにおける建築外表面の入射日射量（日積算値）

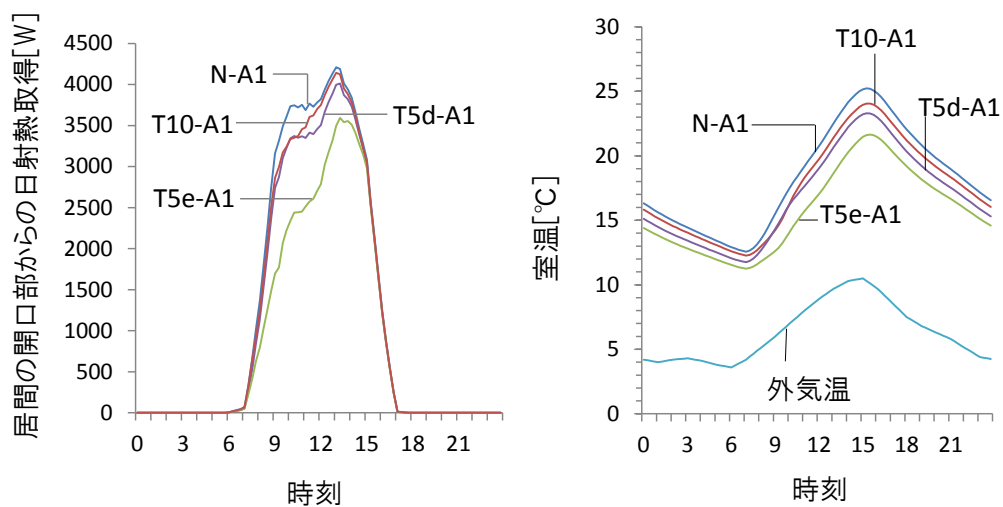


図 4-13 各パターンにおける居間の開口部からの日射熱取得と室温の関係

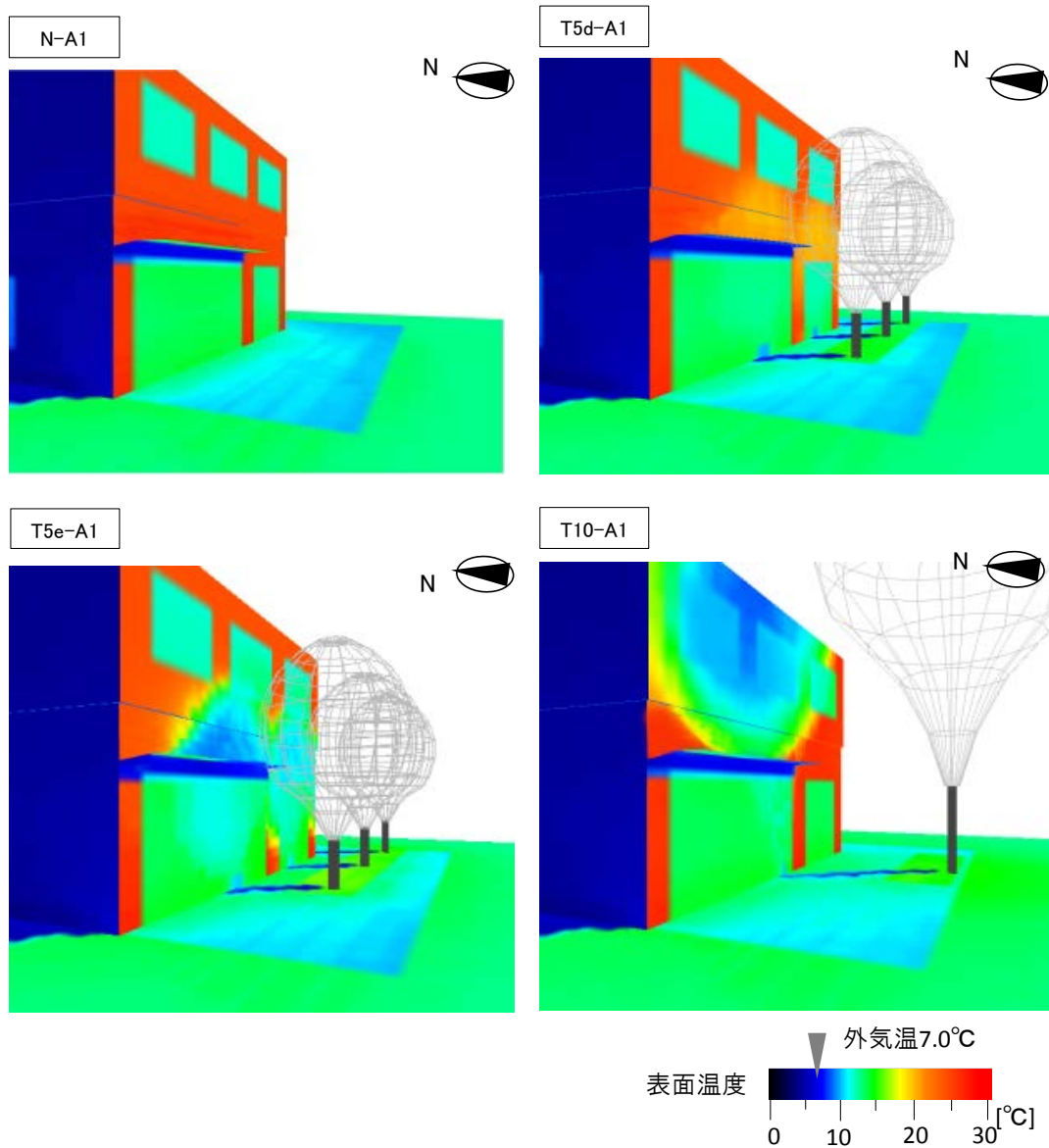


図 4-14 各パターンにおける冬季晴天日 10 時の表面温度分布

4-3-3 室内表面の直達日射量分布が室温に及ぼす影響

(1) 室内表面へ入射する直達日射の分布が蓄熱部位の吸収日射量に及ぼす影響

まず、本研究の方法で室内表面へ入射する直達日射の分布を考慮した室温を算出することの有効性を示すためにそれぞれのケースにおける蓄熱部位の面積・配置と吸収日射量・室温の関係を示すために室内に入射する直達日射量の分布を示す。図 4-15 はN-A2, T5e-A2, T5d-A2, T10-A2 の各ケースにおける室内表面に入射する直達日射量の分布の日積算値を、図 4-16 は各ケースにおける 9 時、12 時の直達日射量の入射量の分布を示している。図 4-15 に示すようにN-A2 に入射する直達日射量は床の南側の中央部において $6\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 以上となる。その結果、N-A2 はN-A1 に比べて蓄熱部位の面積が半分であるが、その吸収日射量の日積算値は居間の日射熱取得の 45%で、床全面に蓄熱部位を配置したN-A1 の 78%となる。

一方で樹木が配置されたT5e-A2 の 9 時の直達日射の入射量の分布に着目すると、日射が照射する床の約半分の面積と西側の壁のほとんどが日射遮蔽の影響を受け最大で 140W/m^2 直達日射量が減少している。さらに 12 時では床面の東側半分に日射遮蔽の影響が及び、樹影となっている床では最大で 250W/m^2 日射量が減少している。

以上を踏まえ、図 4-15 のT5e-A2 の日積算受熱日射量の分布に着目すると樹木のないN-A2 に比べてT5e-A2 では床の中央部と東側での日射量の減少が顕著であり、最大 $1.7\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 減少している。その結果、図 4-18 に示すT5e-A2 の蓄熱部位の吸収日射量はN-A2 に比べ 19%減少している。

また、T5e-A2 と同様の樹木の配置で落葉樹であるT5d-A2 では 9 時に 2 本の樹影が重なる部分で最大 50W/m^2 程度、12 時には床の東側で最大 70W/m^2 程度日射量が減少しているが、日積算値とした場合は最大 $0.6\text{MJ/day} \cdot \text{m}^2$ にとどまりT5d-A2 の蓄熱部位の吸収日射量はN-A2 に比べ 7%減少する。

同様に常緑樹の高木を用いたT10-A2 では 9 時に西壁に最大で 140W/m^2 の日射量の減少がみられるが、室内表面を遮蔽する樹冠の下部の葉張りが小さいこと、室内表面を遮蔽する時間が少ないことから、T10-A2 の蓄熱部位の吸収日射量はN-A2 に比べ 2%の減少となっている。

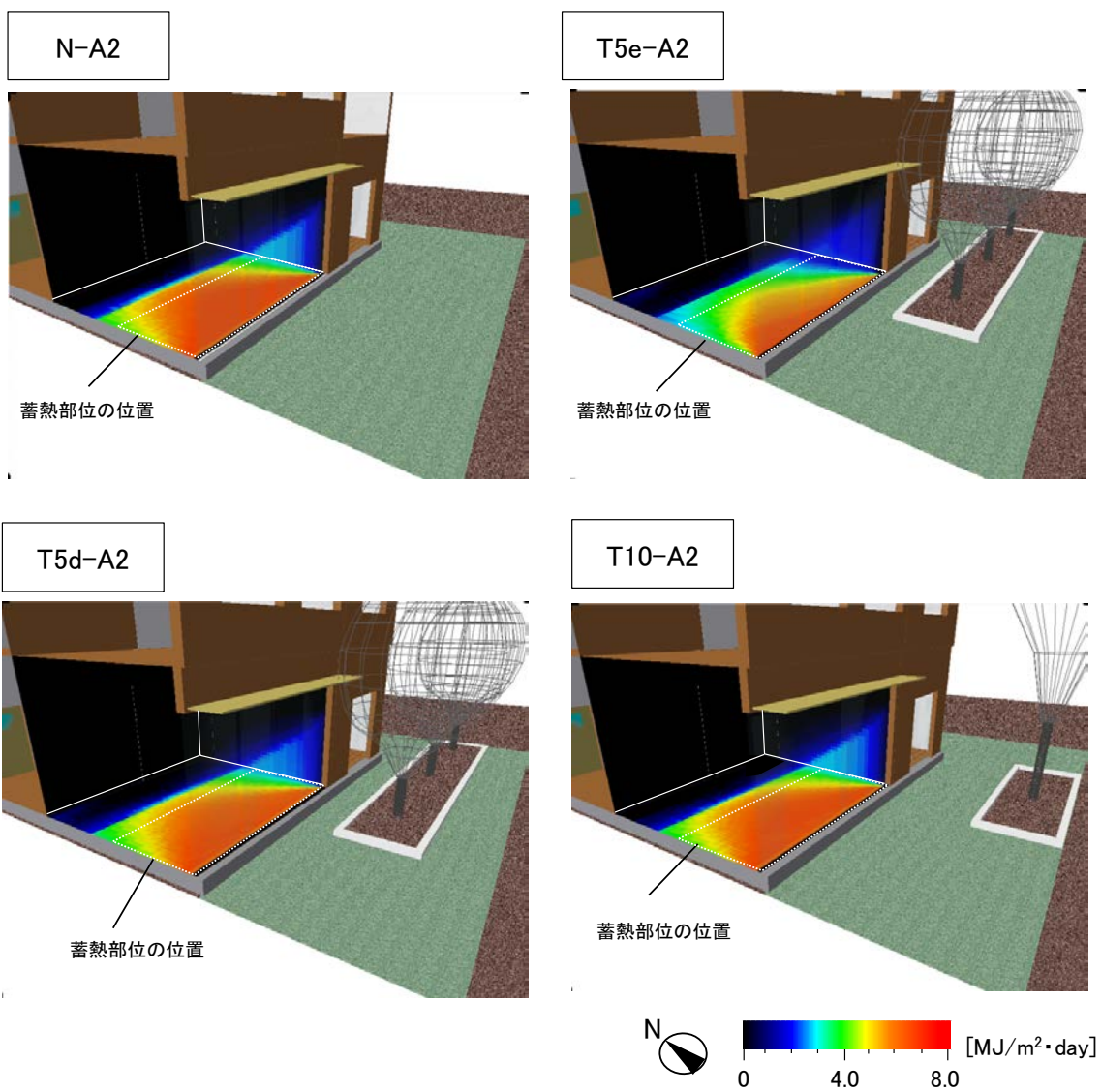


図 4-15 各パターンにおける室内の直達日射量分布（日積算値）

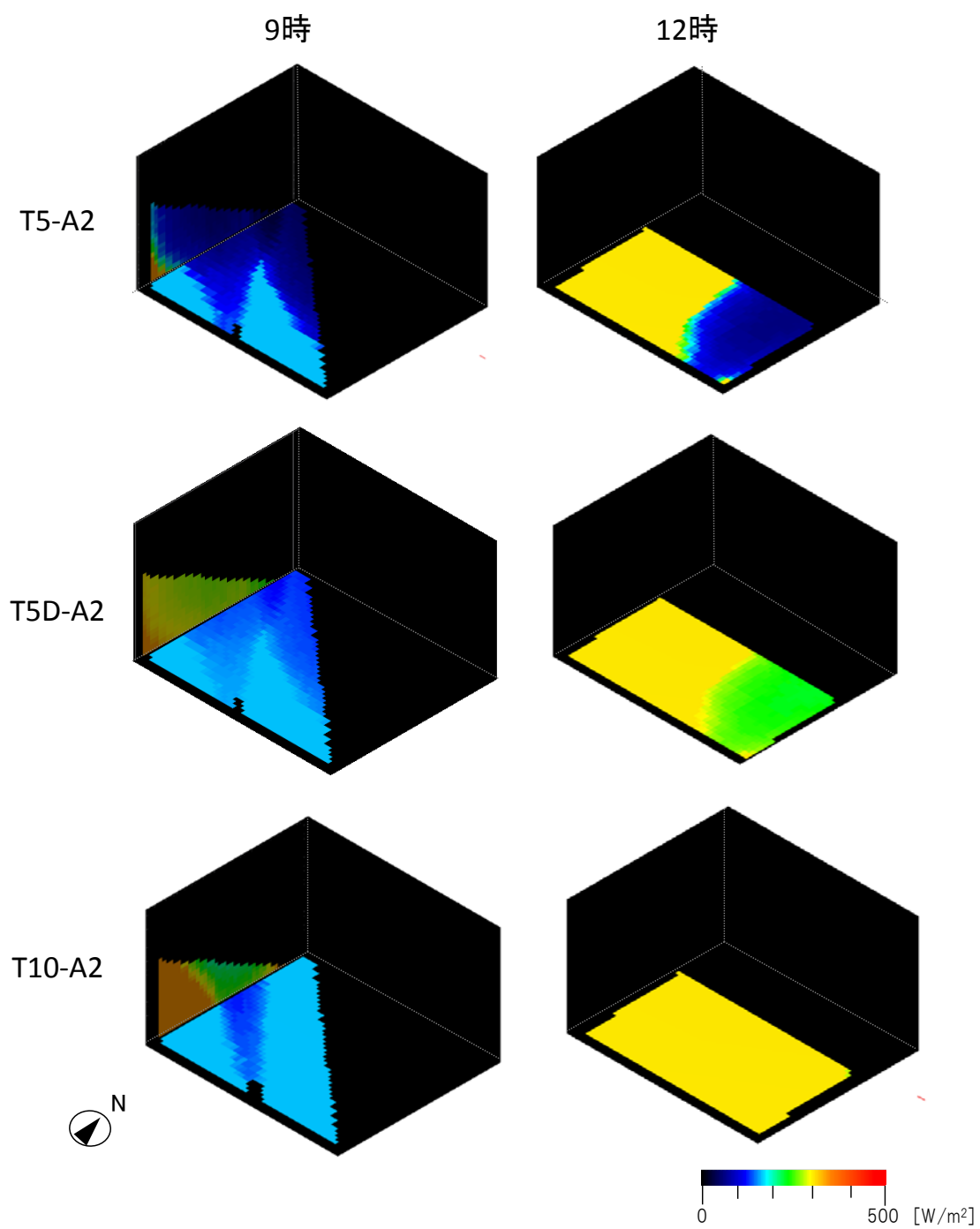


図 4-16 各パターンにおける 9 時, 12 時の室内の直達日射量分布

（２）既往の手法との比較

室内表面に入射する直達日射量の分布を考慮して室温を算出している本研究の方法と浅輪らの方法^{3・10)}の比較を行うために、図 4-17 にそれぞれの方法における室温と蓄熱部位の吸収日射量を比較している。既往の方法の場合、室内に透過した日射量を床に半分、それ以外の面に面積に応じて分配している。蓄熱部位の吸収放射量は図 4-16 で示したように、樹木のあるN-A2、樹木のあるT5e-A2 いずれの場合も直達日射量の入射が蓄熱部位のある床の南半分で顕著であり、既往手法における蓄熱部位の吸収日射量は本方法で算出した場合に比べて過小に評価されており、日積算値で本方法の 61%～67%となっている。その結果、本方法で室温を算出した場合、室温の変動幅は既往手法^{3・10)}に比べて 2～3℃抑制されている。

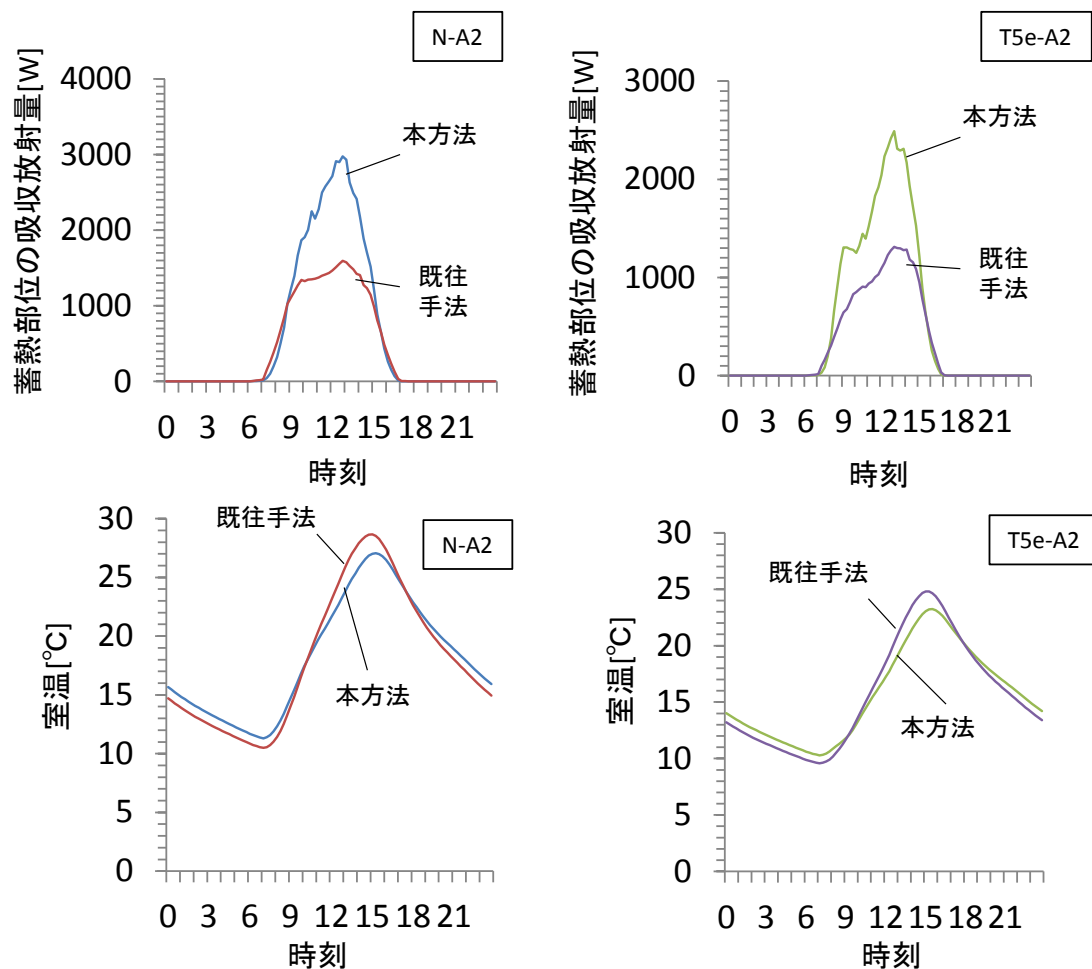


図 4-17 本方法と既往の方法の比較（蓄熱部位の吸収日射量，室温）

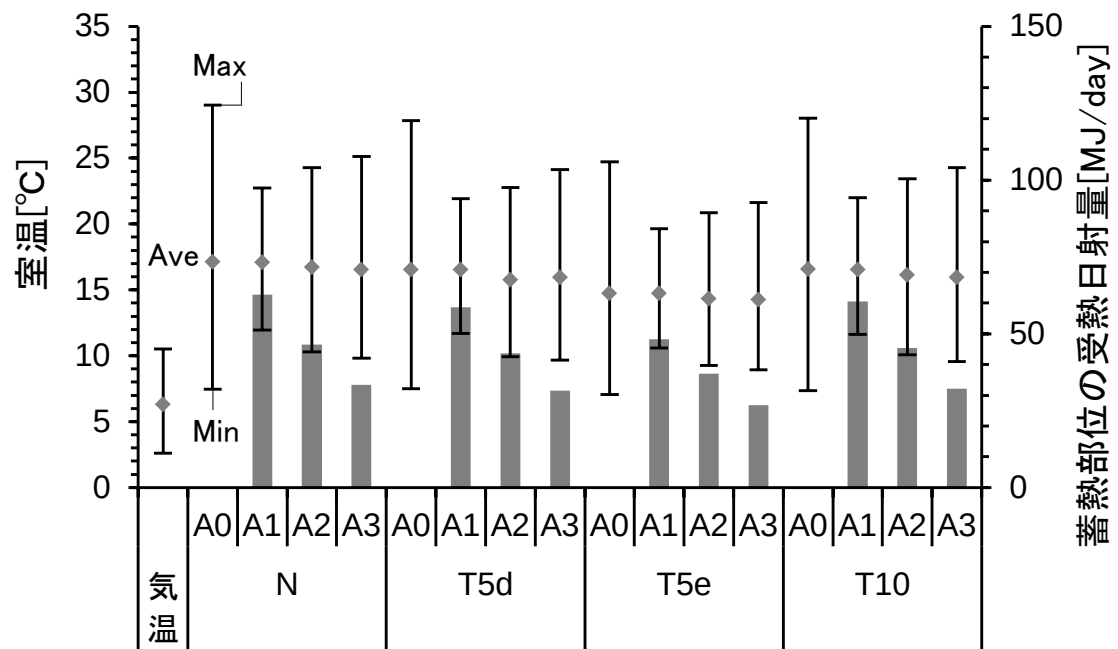


図 4-18 各ケースにおける室温の最大，平均，最小値，蓄熱部位の受熱日射量（日積算値）

(3) 蓄熱部位の面積、配置が室温変動に及ぼす影響

図 4-18 の室温の変動に着目すると、床全面に蓄熱部位を配置したN-A1 は、蓄熱部位を配置していないN-A0 に比べ室温の変動幅が 11°C 小さい。N-A2 は蓄熱部位を床全面に配置したN-A1 に比べて蓄熱部位の面積が半分であるが、日射の当たりやすい南半分の配置であることから室温の変動が抑制され、N-A0 と比べた室温の変動幅の差は 8°C となる。この傾向は樹木が配置された場合T5e, T5d, T10 でも同様である。ただし、T5e-A1, T5e-A2 の室温の変動幅は、蓄熱部位を配置していないT5e-A0 に比べ室温の変動幅が $7\sim 9^{\circ}\text{C}$ 小さく、日射熱取得の小さいT5e-A1, T5e-A2 では蓄熱部位の配置による室温変動幅の抑制効果がやや低下している。

次に、蓄熱部位の配置の違いが室温変動に及ぼす影響に着目すると、西半分に蓄熱部位があるN-A3 と南半分に蓄熱部位のあるN-A2 の 2 つの計算ケースにおける蓄熱部位の吸収日射量の差は 16MJ/day であり、N-A3 の室温の変動幅はN-A2 に比べて 2°C 大きく、落葉樹を配置したT5dと樹高の高い常緑樹を配置したT10 でも同様の傾向であった。それに対し、常緑樹が配置されたT5eの場合、室内の東側の床面における日射量の減少が顕著であるが、西側の中央部の床にも日射遮蔽の顕著な箇所があることから、蓄熱部位の配置A2 とA3 の吸収日射量の差が 10MJ/day となりN,T5d,T10 の差と比べて小さい。樹木のない場合に比べて吸収日射量が小さくなったことで、T5e-A2 とT5e-A3 における室温の変動幅の差もより小さくなり、 1°C となる。

4-4 まとめ

3 章で示した性能予測方法における誤差範囲を感度解析により明らかにしたうえで樹木の日射遮蔽の影響を考慮した日射熱取得、蓄熱部位の吸収日射量と室温の関係を分析し、樹木がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響を示した。得られた知見は以下のとおりである。

- (1) 3 章で示した性能予測方法では精度の確認されている建物熱負荷計算においてに室内表面が吸収する日射量をレイトレーシング法によって算出していることから、室内表面に入射する直達日射量の解析に含まれる空間分解能を誤差要因として挙げた。その結果、単一階の居室を対象とした解析において、 0.6°C を空間分解能 100mmのメッシュ分割における誤差範囲として位置づけ、既往の建物熱負荷計算で示されている誤差範囲に比べて小さいことを確認した。
- (2) 樹木の形状、配置、落葉の有無が室温に及ぼす影響の解析から、ダイレクトゲインシステムの室温の時刻変動は居間の開口部からの日射熱取得に対応した結果を示しており、3 章で示した性能予測方法によって樹木の日射遮蔽による冬季の室温低下の影響や蓄熱部位の配置による冬季早朝の室温上昇効果を確認できることを示した。
- (3) 3 章で示した性能予測方法によって室内表面に入射する直達日射量の分布を考慮した室温を予測することにより、日射の入射位置を考慮した蓄熱部位の吸収日射量の予測が可能となり、既往の方法に比べて蓄熱部位の吸収日射量に応じた室温変動幅を示すことを確認した。
- (4) 樹木の形状、配置、落葉の有無によって日射熱取得が異なる条件において蓄熱部位の配置、面積の違いが蓄熱部位の吸収日射量と室温に及ぼす影響を解析した。その結果、室温変動幅に $1\text{--}4^{\circ}\text{C}$ の差を生じ、先に示した誤差範囲に比べて大きい差となることを示した。

以上より、本章では 3 章で示した性能予測方法において室内表面に入射する直達日射量の分布の算出結果を用いて室温を予測することにより、ダイレクトゲインシステムの性能を予測において樹木の日射遮蔽の影響を考慮しながら蓄熱部位の配置・面積を検討できることを示した。

参考文献

- 4-1) 石田建一，宇田川光弘：期間実測値による多数室室温熱負荷計算法の暖房期についての検証，日本建築学会論文報告集，No.430, pp.23-31, 1991
- 4-2) 宇田川光弘：標準問題の提案 住宅用標準問題 日本建築学会環境工学委員会熱分科会第15回熱シンポジウム資料，pp.23-33, 1985

第5章 ダイレクトゲインシステムを導入した市街地の 住宅の提案と建築内外の熱環境の予測・評価

5-1 はじめに

5-2 ダイレクトゲインシステムを導入した市街地の住宅の提案方法

5-2-1 現状分析に基づく市街地の住宅における提案と熱環境予測の流れ

5-2-2 対象市街地における空地の活用の方角性

5-2-3 空地の活用法に関する既往研究

5-2-4 戸建住宅の建築外部空間における空間形態・用途に関する既往研究

5-3 ダイレクトゲインシステムを導入した市街地の住宅の提案

5-3-1 対象敷地の概要と数値解析での検討項目

5-3-2 対象敷地における提案の与条件

5-3-2 樹木と開口部、蓄熱部位の設定

5-4 提案した市街地の住宅における建築内外の熱環境の予測・評価

5-4-1 計算条件

5-4-2 樹木の配置が冬季と夏季の熱放射環境に及ぼす影響

5-4-3 樹木、隣棟建物の日射遮蔽を考慮した開口部、蓄熱部位の配置が冬季・夏季の室温に及ぼす影響

5-5 まとめ

5-1 はじめに

第2章の現状分析の結果で示したように、建築内外の熱環境に配慮した住宅の設計としてダイレクトゲインシステムの導入に着目する場合、周辺環境の日射遮蔽の影響に考慮して開口部を配置し、冬季に高い室温を維持するだけでなく、配置した開口部の周辺の建築外部空間に形成される熱放射環境への対策が必要である。一方で、実在の市街地の住宅では省エネルギー性や熱環境の改善といった視点だけでなく、プライバシーの確保や施主のライフスタイルといった熱環境以外の視点を考慮していくことも求められる。よって、市街地の住宅にダイレクトゲインシステムを導入する場合、様々な敷地条件を考慮しながら設計を進めていく市街地の住宅において、建築内外に良好な熱環境を形成する可能性を明らかにしていくことも必要といえる。

本章では隣棟建物、樹木、屋外構造物が混在する対象市街地におけるダイレクトゲインシステムを導入した住宅の提案を通じて、第3章で示した性能予測方法によりダイレクトゲインシステムを導入した住宅の建築内外において冬季と夏季に良好な熱環境を形成できることを示す。

初めに、対象市街地内の敷地においてダイレクトゲインシステムを導入した住宅を提案し、第2章の現状分析の結果と既往研究を踏まえて樹木、開口部、蓄熱部位の配置を提案する。さらに提案した市街地の住宅において第3章で示した性能予測手法による建築内外の熱環境の予測・評価を行い、提案した住宅の建築内外において冬季と夏季に良好な熱環境を形成できることを明らかにする。

5-2 ダイレクトゲインシステムを導入した市街地の住宅の提案方法

5-2-1 現状分析に基づく市街地の住宅における提案と熱環境予測の流れ

2 章で現状分析を行った対象市街地では空地化とその活用が課題として挙げられている。現状分析からは空地や空地に隣接する建物においてダイレクトゲインシステムの配置のための可能性が示された一方で、夏季において隣棟建物の壁面や地表面に日射が照射し、表面温度が高温化することで、夏季の建築外部空間の熱放射環境への対策が必要であることが示された。よって、本章では対象市街地の空地の活用方法として空地を屋外の生活空間と位置づけ、夏季に良好な熱放射環境を形成しつつ、冬季の室内において高い室温を維持するために対象市街地にダイレクトゲインシステムを導入した住宅を提案する。図 5-1 にダイレクトゲインシステムを導入した住宅の提案と熱環境予測の流れを示す。

まず、提案では既往研究に基づいた樹木、開口部、蓄熱部位の配置案、既往研究と 2 章の現状分析に基づいた案を複数提案する。なお、提案では熱環境以外の与条件として、対象市街地における空地の活用法については既往研究や日本建築学会のワークショップ（2050 年の土浦を考える）を、建築外部空間の用途や構成物に関しては建築外部空間の構成や住民の意識などの調査に関する既往文献を踏まえる。

次にダイレクトゲインシステムを導入した住宅について、3 章で示した性能予測手法を用いて建築内外の熱環境を予測する。まず、提案した住宅の建築外部空間の冬季と夏季の熱放射環境として、冬季の受熱日射量分布と夏季の表面温度分布、平均放射温度分布を算出し比較することで、夏季の日射遮蔽により建築外部空間に良好な熱放射環境を形成しつつも、冬季の受熱日射量の低下に対して影響の少ない樹木と開口部の配置について検討する。さらに、それぞれの提案における、居間の日射熱取得と蓄熱部位の吸収日射量と室温の関係を分析することにより、住宅の建築内外において冬季と夏季に良好な熱環境を形成するための樹木、開口部、蓄熱部位の配置を検討する。

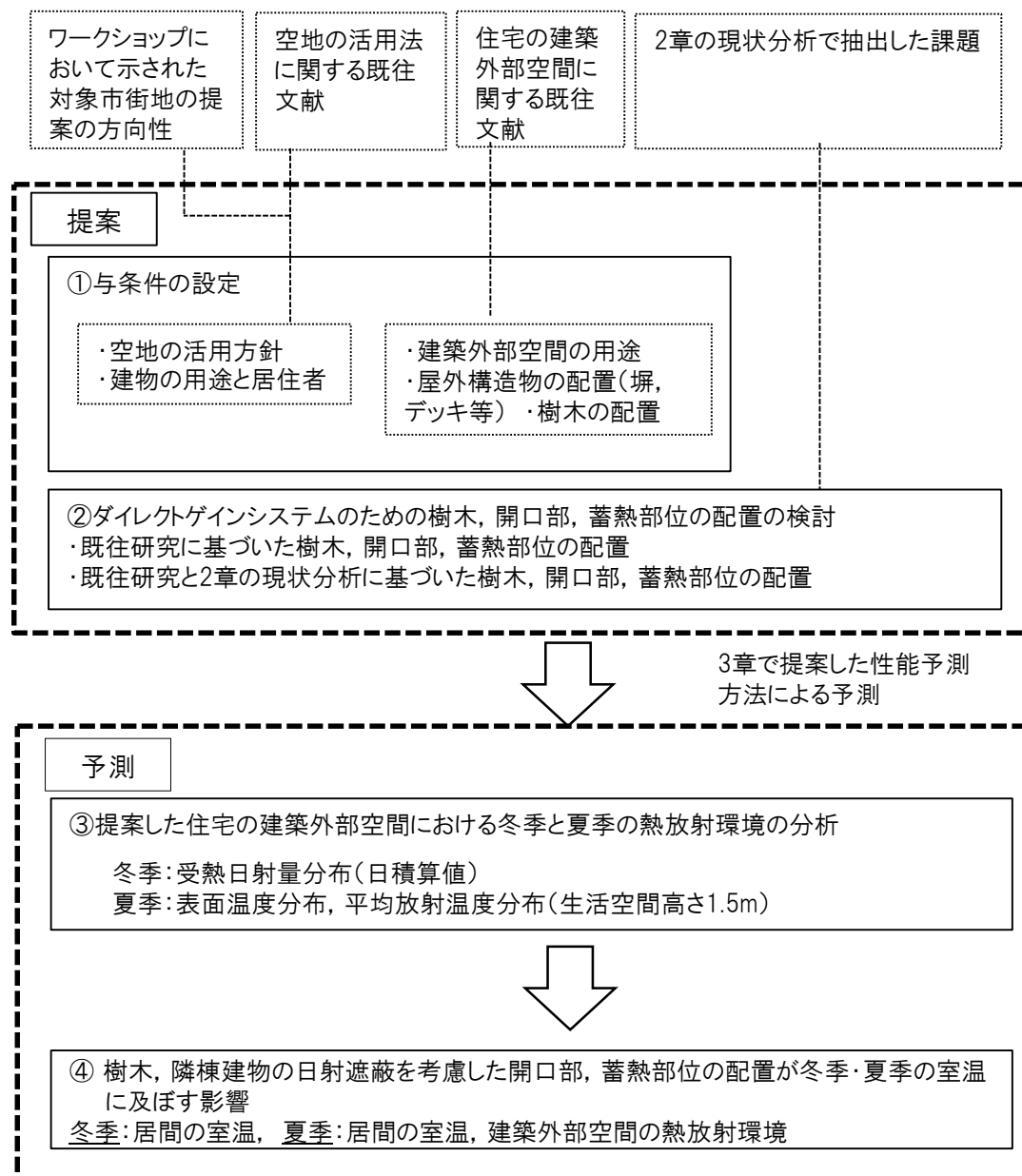


図 5-1 5 章における住宅の提案と熱環境予測の流れ

5-2-2 対象市街地における空地の活用の方向性

対象市街地における市街地提案の方向性を示すものとして、日本建築学会低炭素社会特別調査委員会が土浦市民を対象におこなった市民会議「2050年の土浦を考える」が挙げられる²⁻⁹⁾。このワークショップは日本建築学会低炭素社会特別調査委員会による「低炭素社会の理想都市実現に向けた研究」の一部である。この研究では人口減少や中心市街地の衰退、高齢化など数多くの社会的問題を抱える地方都市において、2050年の低炭素社会を実現した地方都市の将来像を市民の意見を踏まえて提示し、バックキャスティング手法によりその実現のためのロードマップを明らかにすることを目指している。

市民会議の主なテーマは①少子高齢社会、②中心市街地（商業）、③歴史・文化の継承、④2050年の住まい、⑤脱車社会、⑥都市のヒートアイランド現象であり、表5-1のようなテーマが主に上がった。

市街地の提案上重要なテーマとして、土浦市の商業観光の中心として市街地内の商業・観光の活性化、高齢者が徒歩で生活できるまちづくり、歴史的街並の保全・再生、かつてあった水路の復活とともに、市街地内に子どもや高齢者が利用できる公園や休憩場所等の機能の付加が提案された。

以上から市街地の提案の方向性として①歴史的な景観の尊重、②地域の中心となる商店街、③水と緑を活用した快適な街区、④環境負荷の少ない暮らしと建物が示されており、本研究ではこの方向性に従い、歴史的建物の多い空地については商店併用型の住宅を新築し、それ以外の敷地については地域住民と観光客のポケットパークを整備していくこととする。

表 5-1 市民会議で上げられた課題と解決策

	課題の抽出	解決策について
①少子高齢化社会	日常生活を不便なく送るための買物・交通手段 子どもも高齢者も運動できる公園	高齢者のための病院・商店 休憩場所のある歩道
②中心市街地	商店街が機能していない 店の跡継ぎがいない 土地を持っている人は駐車場になってしまう	公園の中のまち、緑が多いまち 地域資源の活用(霞ヶ浦への眺望、水路の復活) 水を生かした回遊性のあるまち
③歴史・文化の継承	資源はたくさんあるがPRが下手 特産品がない 若者向けのイベントが少ない	行政・住民・地権者・商店街組合・NPO等の連携により若い世代へ継承 まちづくりにストーリー作りを
④2050年の住まい	土浦ならではの特徴がほしい 緑が少ない・土地が狭い 既存建物の有効利用が必要	高齢者が自宅で暮らせる 人とのつながり、自然とのつながりのある生活 地産地消で暮らせる街の実現
⑤脱車社会	徒歩圏内で暮らせる街の実現 バスの便が悪い	車の規制、徒歩の商店街の提案 市民への環境教育と草の根運動
⑥都市のヒートアイランド現象	熱帯夜の増加 窓を開放できない コミュニティが崩壊し個人でやることに限界	生垣を植える、植栽の励行 雨水利用による打ち水

5-2-3 空地の活用法に関する既往研究

対象市街地のような地方都市の駅や中心市街地に近い市街地では、古くから宿場町や城下町として発展し、行政や商業の中心として繁栄していたが、モータリゼーションや郊外の商業施設の増加、公共施設の郊外への移転等により商店街のシャッター通化といった中心市街地の商業の衰退や市街地の空地化による駐車場化が問題となっている。

特に、対象市街地のように歴史的建物が残る市街地における駐車場の増加は歴史的な街並みを有する市街地の魅力の喪失と活力の低下を招くことが大庭により指摘されている。

特に大庭⁵⁻¹⁾の指摘では駐車場の付帯設備の過剰な色彩デザインや街並みの連続性の分断により、壁面線や高さのそろった歴史的景観の印象を損ねること、細街路に自動車利用を前提とした駐車場を計画することによる歩行者への危険性と回遊動線の阻害が問題視されている。このような状況を踏まえ、各地方都市ではコンパクトシティの考え方に従って、中心市街地の人口密度を高めようとする試みが行われている。その例として金沢市⁵⁻²⁾、富山市⁵⁻³⁾、小山市⁵⁻⁴⁾では個人を対象とした中心市街地の住居の取得や法人での共同住宅の建て替えに対する補助が行われている。このようなまちなか居住の推進は土浦市⁵⁻⁵⁾の基本計画にも示されている。

一方で住宅地における空地の活用事例としてはポケットパークが挙げられる。主な既往研究としては木下ら⁵⁻⁶⁾が住民参加型の低未利用地を活用したポケットパークの整備例として、世田谷区太子堂の事例におけるオープンスペース創出過程を、伊藤らが東京都足立区における低・未利用地の活用形態を、熊野らがポケットパークの活用と管理における各自治体の動向⁵⁻⁷⁾と、設立目的と空間特性⁵⁻⁸⁾を示している。また、歴史的市街地におけるポケットパークの整備例としては渡部⁵⁻⁹⁾が郡上八幡の水車のあるポケットパークを挙げている。

中でも熊野ら⁵⁻¹⁰⁾は42の自治体におけるポケットパークの設立目的とその空間特性をアンケート調査により収集している。住宅地における例では住民の憩いの場や密集した市街地の住環境の改善、周囲の景観の向上が、観光地では観光スポットとしての整備や観光客の憩いの場が設立経緯として示されておりこれらの設立経緯に基づいた空間特性として、植栽、ベンチ、街灯が配置され、これらはポケットパークの3要素であると位置づけられている。

5-2-4 戸建住宅の建築外部空間における空間形態・用途に関する既往研究

建築外部空間の空間形態に関する研究は、寺内ら⁵⁻¹²⁾のように建築平面と中庭の関係などが多数調査されている。これらの多くは住宅以外の用途や集合住宅の中庭等を対象としているが、本研究では戸建住宅に関する空間形態・用途に関するものに着目する。まず、戸建住宅地を対象とした調査は梅津ら⁵⁻¹³⁾が戸建住宅地の庭の用途や塀などの構成物を、平田ら⁵⁻¹⁴⁾が大都市の独立住宅地を対象にして庭における生活行動や意識を調査している。また、密集住宅地の建築外部空間の例として、コートハウスのに関する研究は小林ら⁵⁻¹⁵⁾、村田ら⁵⁻¹⁶⁾等により行われている。

さらに、住宅敷地外からの視線や居住者のプライバシー感の視点から、竹嶋ら⁵⁻¹⁷⁾が郊外の戸建住宅地を対象に、井上ら⁵⁻¹⁸⁾が東京の戸建て住宅を対象にアンケート、実測調査を行い、住戸における塀の高さや素材、プライバシー感について明らかにしており、塀や樹木の配置において参考となる知見といえる。

本研究では、それぞれの研究から庭の用途、敷地境界の囲い、樹木や土地被覆の実態に着目し、本章で提案する庭の方向性について考察する。

(1) 庭の用途

既往研究では小林ら⁵⁻¹⁵⁾がコートハウスの中庭の用途を、梅津ら、野口ら⁵⁻¹⁹⁾は八戸、札幌それぞれの都市の住宅地において庭の用途や生活行為を調査している。それぞれの研究において用途の区分の表現に差異はあるが、区分は、駐車、玄関などへのアプローチのための通路、アウトドアリビング等の多目的スペース、庭木・花壇、家庭菜園のためのスペース、物干し等の家事のためのスペースに大別される。また、梅津ら⁵⁻¹³⁾は1990年以降の傾向として車所有増加による駐車場スペースの増加、多目的スペースの増加を指摘している。またその後の調査⁵⁻²⁰⁾ではアウトドアリビングスペースが調査対象60件中29件で採用されており、その多くが家族室に連続していることを示している。

(2) 敷地境界の囲い

敷地の囲いや塀については梅津ら⁵⁻¹³⁾が八戸市の住宅地における傾向として1960年代から1974年頃までに竣工した住宅では出入り、視線ともに遮断する高さ1.5m以上の塀が約半数あるが、1990年以降では8割が1.4m以下の塀となり「視線を遮断しない」ものに移行していると結論付け、「近隣関係への開放性等の近隣における住生活や意識の変化」を示唆している。

表 5-2 戸建住宅の建築外部空間における空間形態・用途に関する既往研究

著者、発行年月	対象空間	調査対象項目	調査方法	備考
竹嶋, 住友(2004)	大阪郊外住宅地 (入居開始1983年) 敷地面積(200~250㎡)が主体,	塀の高さ, 種類(隣家, 裏家, 道路別)の現状と理想, 家の中, 庭の中への視線の意識, 開口部の遮蔽物(カーテンなど)	居住者へのアンケート (278件回答)	隣家との境界の場合, 塀の高さ(現実): 腰の高さ, 理想: 目線の高さが最も多い。塀の種類はフェンスと縦格子, 横桟で回答7割
豊川, 梅津(2010)	八戸市の郊外住宅地, 庭面積120~200㎡が約半数	主な庭に設けているスペースの内訳の調査, アウトドアリビングスペース, 庭木スペース, 囲いの設置状況	5年以内に竣工した住宅の居住者へのアンケート(60件回答)	アウトドアリビングスペースが60件中29件みられる。アウトドアリビングスペースは家族室に多く, 家族室の延長としてとらえられる。囲いや庭木を設けない事例が増加している, 近隣への意識の変化を指摘
梅津, 坂本, 藤田(2000)	八戸市の郊外住宅地, 庭面積100~200㎡が約7割	前面道路と住宅, 庭の位置関係, 部分スペースの面積構成, 配置の形態, 囲いの設置状況	居住者へのアンケート (148件回答)	車利用の増大, 宅地利用による庭の狭小化を指摘, 庭木のある植栽スペースの面積は減少傾向。庭は主に家族室に面することが多い。1990年以降の住宅では囲いの高さ(前面道路側)が減少傾向にあり「視線を遮る必要性が低下しつつある」
村田, 根ヶ山, 安田(2012)	コートハウス(建築家による現代住宅作品)敷地面積300㎡以下, 中庭面積は9割以上が40㎡未満	中庭の床要素, 配置, 上部の囲い, 樹木や造り付け家具の配置, 居間との隣接関係	新建築誌1960年から2009年で建蔽率45%以上, 敷地面積300㎡以下の164件を調査	中庭の床要素, 歩行材: タイル(60件)やウッドデッキ(56件), 非歩行材: 芝(66件)が多くみられる。樹木の配置: 複数の本数(35件)よりもシンボルツリーのような1本のような木を植えるケースが多い(58件)
小林, 北原, 神谷(1988)	コートハウス	建築面積と中庭面積の比率, 中庭のプランニング, 中庭の設計意図, 利用目的	過去10年の新建築誌のコートハウス件を対象とした文献調査(60件), 設計者を対象としたアンケート調査(36件)	中庭の設計意図: 日照, 通風の確保, 居住性の向上, 各室の交流の増加 中庭の利用目的: 居間, ギャラリー, エントランス, 物干し, 光庭, シンボルなどが挙げられている。

一方で竹嶋ら⁵⁻¹⁷⁾の研究では現状の隣棟との境界にある塀の高さは58%が腰の高さであるが、居住者の理想では目線高さが約41%を占め、腰の高さ38%より高くなっており、居住者が高い塀を志向している傾向にあることが示されている。また、家の中、庭の中へのプライバシー感については庭の中について「ほとんどみえる場合」でも4割は「あまり気にならない」「気にならない」「全く気にならない」（以下、気にならない）と回答しているが、家の中は「ほとんど見える場合」について気にならないが5%しかなく、「ちらほら見える場合」では気にならないと回答した割合は約3割となっている。また、井上らの研究でも類似した傾向がみられ、回答者全体の81%が庭は見られてもよいが家の中は見られたいと回答している。

以上の既往研究より、塀については近隣に対する住生活や意識の変化により、居住者の多くは庭の中への視線をある程度許容し、「視線を遮断しない」高さでもよいとしている。一方で家の中への視線に対しては抵抗があり、「ちらほら見える」～「ほとんど見える」の程度の違いはあるが塀等による視線の遮蔽のための対策を求めていることが示唆される。

（３）建築外部空間の樹木・樹種

樹種については、各自治体によって緑化のための条例が制定されており、指針が示されている。特に世田谷区⁵⁻²¹⁾は住民を対象に戸建て住宅における緑化のための指針を示しており、地域の環境や維持管理、日照条件などを考慮し、敷地の特性別に適する樹種を示している。

5-3 ダイレクトゲインシステムを導入した市街地の住宅の提案

5-3-1 対象敷地の概要と数値解析での検討項目

対象市街地のような空地化が顕著な市街地の空地の活用法の方向性として、既往の事例では空地に建物や店舗等を建て、まちなか居住を推進していく方向性とポケットパーク等の整備により建築外部空間を活用し、地域の魅力向上や環境の改善に寄与していく方向性が示されている。

そこで本研究では空地化が顕著な対象市街地の住宅におけるダイレクトゲインシステムの導入として、空地に建物を新築し、ダイレクトゲインシステムを導入していく提案（以下、新築案）と空地化により冬季の受熱日射量が増えた建物にダイレクトゲインシステムを導入し、空地を建築外部空間として活用する提案（以下、隣棟改修・空地活用案）の2つを示す（図5-2）。

よって、本研究では新築案を検討するための対象敷地として間口が広く、ダイレクトゲインシステムのための開口部の配置が比較的容易と考えられる空地（a）、隣棟改修・空地活用案のための対象敷地として、対象市街地に多い南北に細長い空地とその東側にある建物として空地(b)と建物(iii)を選定する。

（1）新築案（空地(a)）における提案の概要と流れ

空地(a)は東側の隣棟建物と道路を挟んで南側が明治、大正時代に建てられた歴史的建物であり、土浦市の観光の拠点として使用されている。よって、ワークショップの方向性に従って歴史的な街並みを有する市街地として位置づけるための計画が求められることから、道路沿道に壁面線や高さを揃えて歴史的な街並に配慮した商店と住居を設けることが想定される。

よって空地(a)では居間にダイレクトゲインシステムを導入し、敷地の東西の隣棟の影響を考慮しながら樹木、開口部の配置の検討を行う。

空地(a)では図5-2の提案の流れに示すように、建物のボリュームや居室の配置は対象市街地の将来の方向性とダイレクトゲインシステムの性能の確保の双方の視点を考慮して行う。次に、中庭を生活空間として活用していく場合には、隣棟建物からの熱放射の影響についても考慮する必要があることから、2章の現状分析の結果を踏まえて夏季の開口部の日射遮蔽や冬季の室温低下への影響も考慮しながら有効な樹木の配置を検討し

ていく。さらに、開口部、蓄熱部位の配置については西の隣棟建物からも日射遮蔽の影響を受けることからこの点を考慮した検討していく。

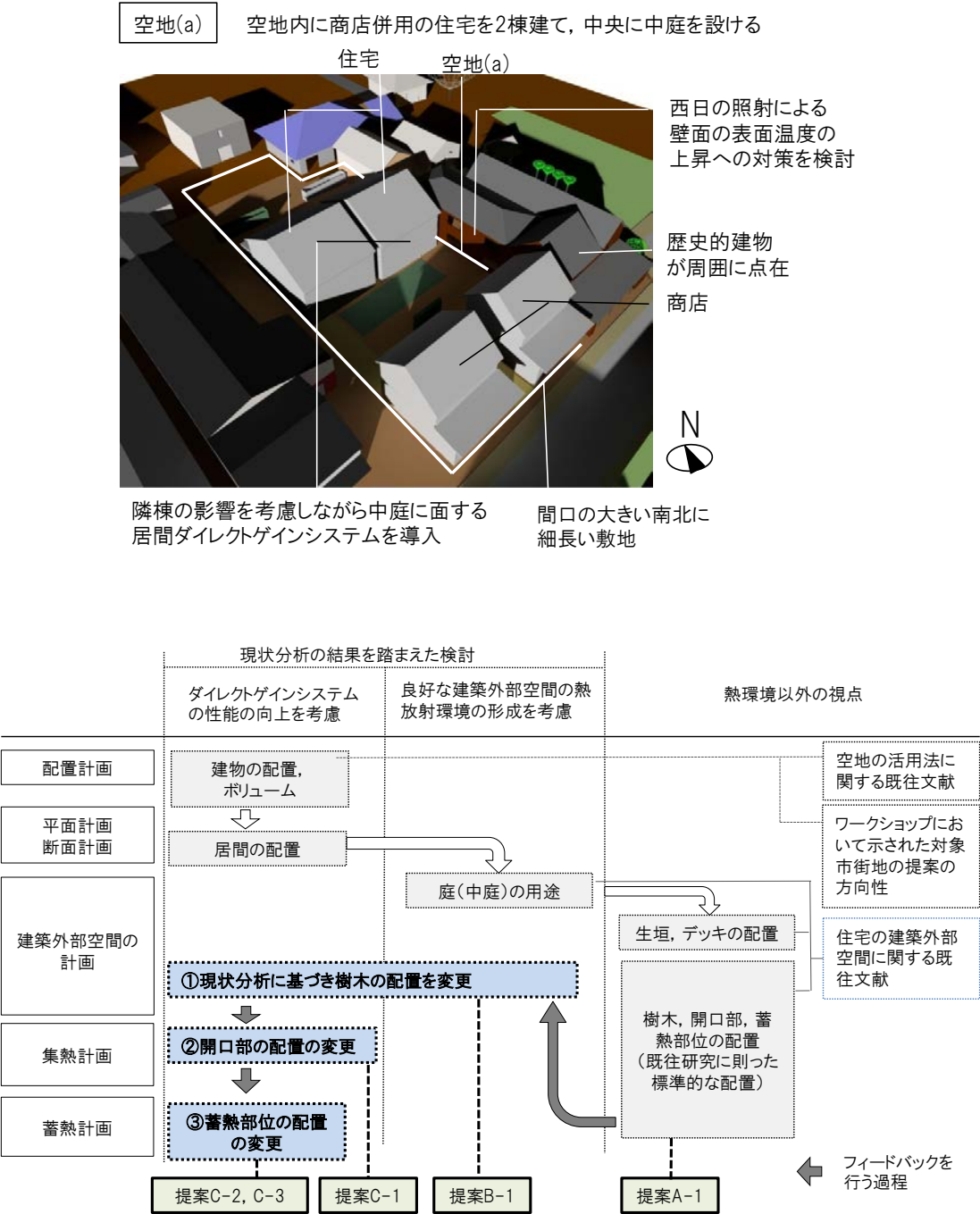


図 5-2 空地 (a) における提案の概要と提案の流れ

（２）隣棟改修・空地活用案（空地(b)，建物(iii)）における提案の概要と流れ

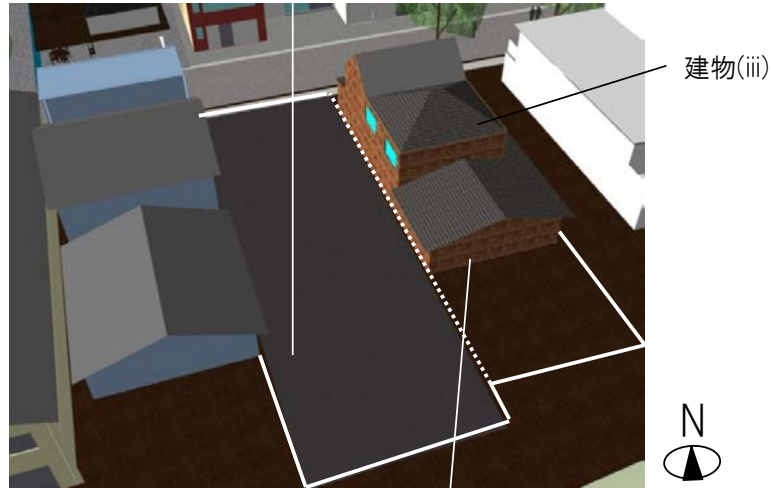
図 5-3 に空地(b)，建物(iii)における提案の概要と提案の流れを示す。建物(iii)は現在飲食店と住居の併用建物として使用されており，東西の隣接敷地が駐車場となっている。また，ワークショップでは観光客と住民のための憩いの場の設置が提案されている。

以上から空地(b)では空地进行観光客と住民のためのポケットパークとして整備したうえで，建物(iii)の居間にダイレクトゲインシステムを導入し，集熱量の増加のための開口部の配置の検討を行う。

まず，空地の活用法とワークショップで提案された市街地の提案の方向性を踏まえ，庭とポケットパークの用途を決めたうえで既往の住宅の建築外部空間に関する文献を堀やベンチ，デッキの配置を決定する。次に，開口部からの日射熱取得を増やして冬季の室温の改善の検討を行うためにダイレクトゲインシステムの導入の視点から 2 章の現状分析の結果に基づいて西側壁面への開口部の配置の検討を行う。さらに，西側壁面に開口部を設けた場合，夏季の室温上昇への対策が必要である点，夏季の熱放射環境への対策が必要である点から樹木の配置を検討する。また，蓄熱部位の配置についても開口部の配置や樹木の日射遮蔽の影響を考慮して配置を検討する。

空地(b)

空地(b): 観光客や地域住民の憩いの場として活用



建物(iii)を改修してダイレクトゲインシステムを導入

- ・ 隣棟の居間にダイレクトゲインシステムを導入西側壁面にも開口部を設け, 集熱量を増やす
- ・ 建物(iii)への西日の照射による空地(b)の熱放射環境改善のための対策を検討
- ・ 開口部の増加による冬季室温への影響を同時に検討

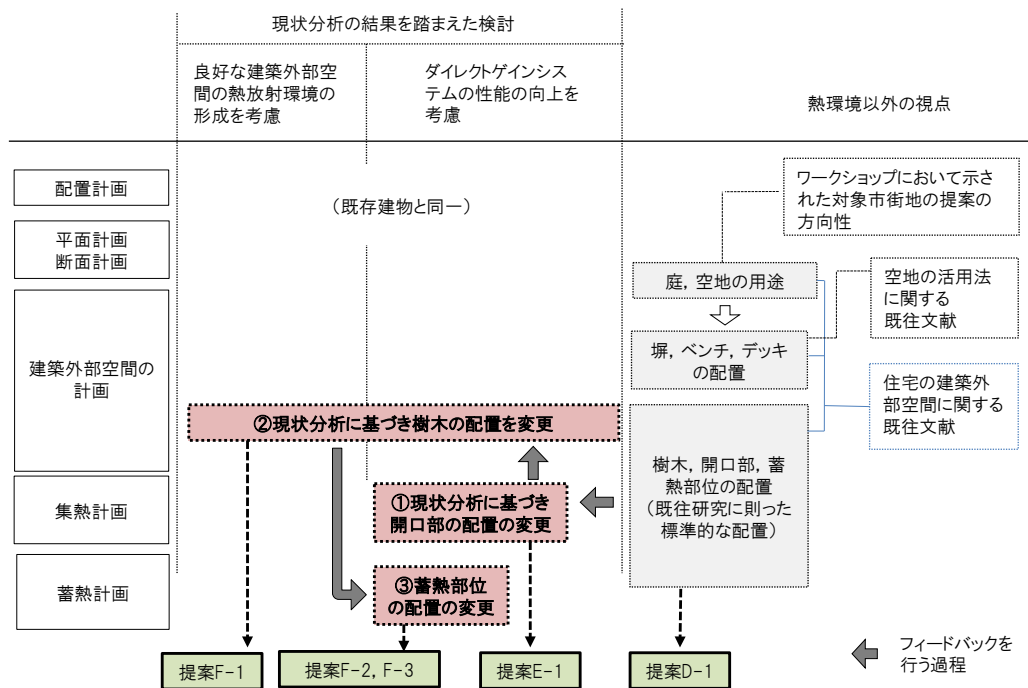


図 5-2 空地 (b), 建物 (iii) における提案の概要と提案の流れ

5-3-2 対象敷地における提案の与条件

本章でダイレクトゲインシステムの樹木、開口部、蓄熱部位の配置の検討を行うに当たり図 5-3 にそれぞれの敷地における提案のための与条件を示す。

(1) 新築案（空地(a)）に関する与条件

建物のボリュームと建物用途：

居住者と建物用途は前述のワークショップにおいて提案された歴史的市街地の再生という方向性が示されている。ワークショップの方向性と周辺にある歴史的建物との関係を考慮して道路側には商店の配置を想定する。空地(a)の敷地は東西の間口がひろいことから空地(a)には短冊状に商店と住宅を 2 件ずつ配置する。店舗の床面積（1 階）は対象市街地の他の店舗と同様の規模として 100m²、2 階を事務所として利用することを想定している。中庭は店舗からの日射遮蔽を考慮して、南の商店から 10m 離して配置する。よって建物のボリュームと居間の配置についてはダイレクトゲインシステムの導入を想定した設定として、南面の開口部を増やすために南北に細長い敷地に中庭を設ける。

建物の居住者：

前述のワークショップにおいて提案された職と住の一体化した町が提案されていることから店舗を営む 4 人世帯が暮らす店舗併用の住宅とする。

建物の平面計画：

中庭に面するように 1 階南側に配置、ダイレクトゲインシステムを導入する。その他の室の形態についてはパッシブシステム設計の手引き⁵⁻²²⁾、住まいの空間構成に関する既往文献⁵⁻²³⁾の南入り、間口 4 間の典型的な住宅平面に基づいて居間の位置を設定した。なお、本研究ではダイレクトゲインシステムにおける樹木、開口部、蓄熱部位の検討を行うことを目的としていることから、現状の室同士の空間構成については議論しないこととし、計算のモデルも居室とそれ以外に分割して取り扱う。

中庭の用途：

既往研究から庭の用途は駐車、玄関などへのアプローチのための通路、アウトドアリビング等の多目的スペース、庭木・花壇、家庭菜園のためのスペース、物干し等の家事のためのスペースに大別される。本研究では建築内外の連続した空間の提案を想定することから、既往研究の用途を踏まえ、中庭の北側には居間と連続したアウトドアリビング

グのスペース、玄関の周りには多目的スペースを配置し、その他の空間には庭木・花壇、通路を配置する構成とする。

中庭の土地被覆：

既往文献に基づき、図 5-3 における通路空間をタイル、多目的スペースをデッキ、芝生として設定する。また 2 棟の敷地の境界には既往研究を踏まえて植栽(1m)を配置し、相互の視線に配慮が必要な部分については高さ 2m とする。なお、樹木の選定は戸建住宅において一般的であり推奨される樹種として自治体が戸建住宅の緑化の指針を示したガイドブックで示されている樹種を参照する。

(2) 隣棟改修・空地活用案(空地(b), 建物(iii))に関する与条件

建物のボリューム：

原則として、既存の建物(iii)そのままのボリュームを活用することとする。

建物の用途と居住者：

空地(a)に対する提案と同様に店舗を営む 4 人世帯が暮らす店舗併用の住宅とする。

建物の平面計画：

冬季に十分な受熱日射量が期待できる南側に居室を配置することとする。なお、本研究ではダイレクトゲインシステムにおける樹木、開口部、蓄熱部位の検討を行うことを目的としていることから、現状の室同士の空間構成については議論しないこととし、計算のモデルも居室とそれ以外に分割して取り扱う。

庭の用途：

空地(a)と同様に居間と連続したアウトドアリビングのスペース、その他の空間には庭木・花壇、通路、物干しなどの作業場を配置する構成とする。

ポケットパークの用途：

ワークショップの方向性で、地域住民と観光客が憩える空間が提案されていたことから、観光客のための休憩スペース、地域住民のための休憩スペース、イベントスペースを設ける。また、地域住民のためのイベントスペースは隣接する建物(iii)に隣接する形で設置し、建物(iii)の周辺の住民がバーベキュー等のイベントを行うことができるスペースとする。

庭の土地被覆：

既往文献に基づき、通路空間をタイル、多目的スペースをデッキ、芝生として設定する。詳細な配置については図 5-3 で示す。なお、樹木の選定についても空地(a)と同様である。

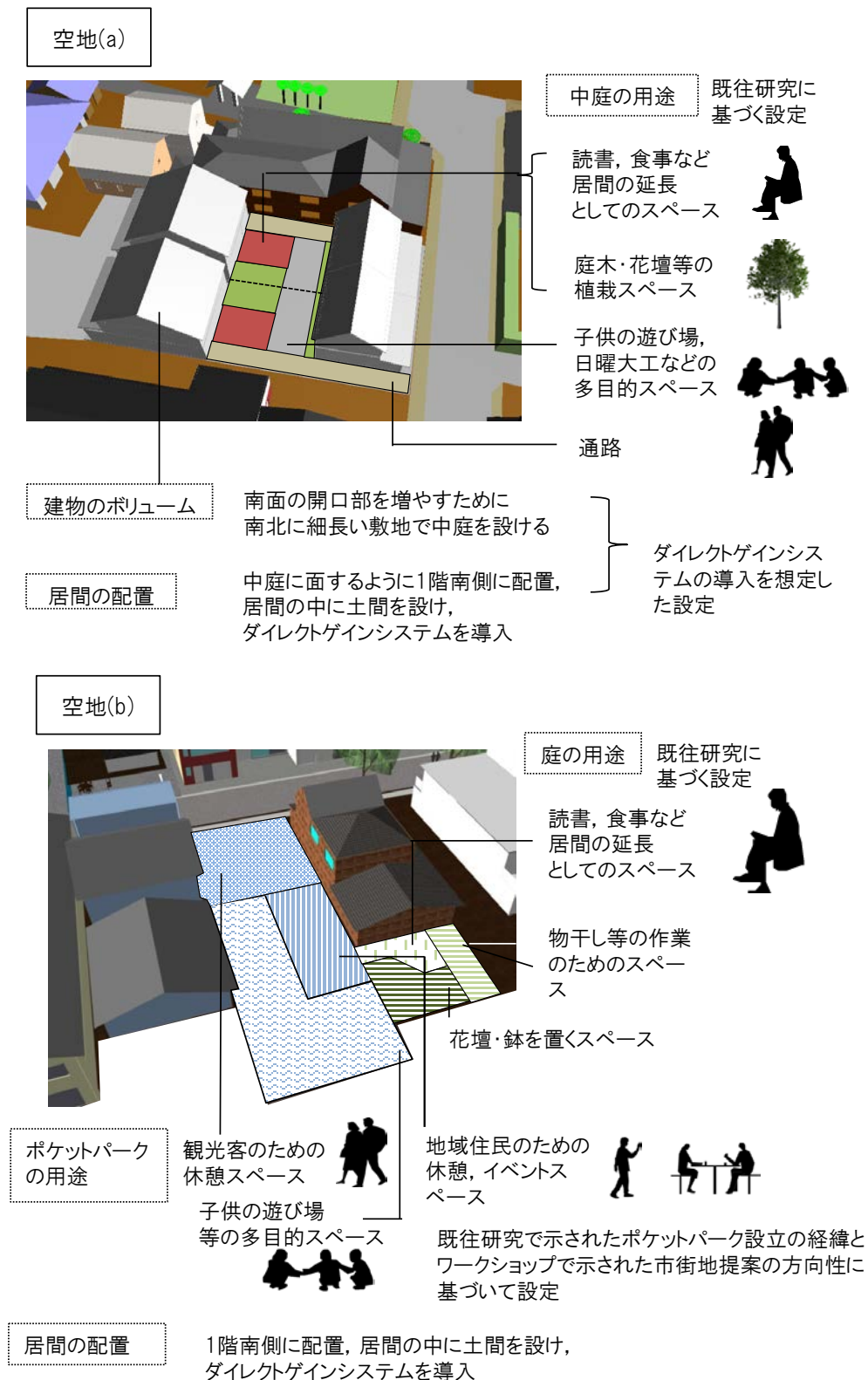


図 5-3 市街地の住宅の提案のための与条件

5-3-3 樹木と開口部、蓄熱部位の設定

(1) 新築案（空地(a)）

空地(a)における樹木と開口部の配置の設定として提案 A-1～C-1 を示す（表 5-3）。まず、既往研究の知見を踏まえた標準的な提案として、A-1 では竹嶋ら⁵⁻¹⁷⁾や井上ら⁵⁻¹⁸⁾、梅津ら⁵⁻¹⁹⁾等の既往研究に基づいた条件で塀を配置し、南側にデッキを設け、居間と連続した生活空間を設ける(図 5-4)。また各住戸にシンボルツリーとして既往の事例に多い樹種であるイロハモミジを 1 本植栽している。B-1 は夏季に快適な生活空間を形成するために、現状分析に基づき樹木の配置に工夫をした提案である。B-1 では空地(a)の東側に隣接する建物(i)の西側壁面の表面温度の上昇が夏季の熱放射環境を悪化させていたことから、樹高 7 m のアキニレを中庭の東側に列植し、A-1 のイロハモミジの樹高を 10m と高くしている。また空地の西側では樹高 7m のサクラを 1 本と玄関の傍に低木を植栽し、デッキ部分における夕方の熱放射環境の改善を図る。C-1 では A-2 において、2 棟の住宅の間の植栽や建物(i)がダイレクトゲインシステムの集熱のための開口部を遮蔽してしまうことから、開口部の高さを高くしている。

また、蓄熱部位の配置は図 5-5 に示すように A-1～C-1 では居間の一部を土間として使うことを想定し、居間の南側 4 分の 1 に配置している。

C-1 については蓄熱部位の配置、面積が異なる案として、土間を庭の延長として位置づけ、作業を行うスペースとして奥行きのある配置をおこなった案 C-2, C-3 を設定する。C-2, C-3 は日射の照射しやすい位置に配置しており、C-3 は蓄熱部位の面積を大きくしている。

表 5-3 空地(a)における提案の概要

	A-1	B-1	C-1	C-2	C-3
現状分析に基づいて樹木を配置	×	○	○		
現状分析に基づいて開口部を配置	×	×	○		
蓄熱部位の配置を変更	×	×	×	配置	配置と面積

提案A-1

既往研究に基づいた条件で樹木、生垣を配置



各住戸にシンボルツリーとして配置

敷地境界の生垣(カナメモチ):
既往文献(戸建住宅の塀の配
置, 高さに関する文献)を参考
に配置, 高さ2m(一部1m)

樹木: 落葉樹(イロハモミジ)
樹高6m, 葉張り5m,
樹冠下高さ3m×2本

視点X



子供の遊び場, 日曜大工などの
多目的スペース

通路

視点Y



居間と連続したデッキ

デッキと連続させて配置
した開口部

提案B-1

2章の現状分析に基づいて樹木を配置, 開口部の配置は提案A-1と同一



落葉樹(アキニレ)樹高7m, 葉張り3.5m,
樹冠下高さ2.5m×3本
:隣棟建物に照射する西日を遮蔽

落葉樹(イロハモミジ)
樹高10m, 葉張り5.5m, 樹冠下高さ3
m×2本

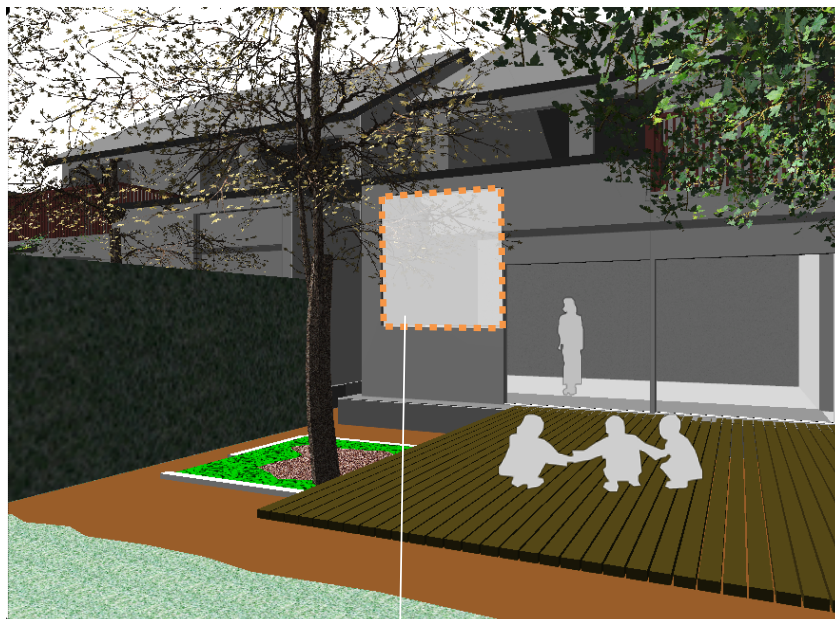
落葉樹(サクラ)
樹高7m, 葉張り5m, 樹冠下
高さ2.5m

開口部とデッキを日射遮蔽するように
樹木を配置

図 5-4 空地 (a) における樹木, 開口部の配置の提案
(提案 A-1, B-1 の場合)

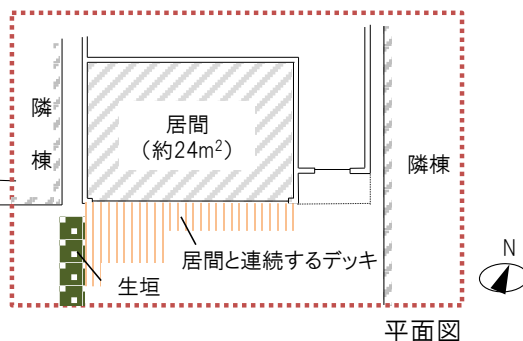
提案C-1, C-2, C-3

樹木や生垣、デッキの配置は提案B-1と同一
生垣による日射遮蔽の影響を考慮して開口部を高く配置(+1m)



現状分析の結果を踏まえ日射を取得しやすい位置に開口部を変更

■蓄熱部位の配置



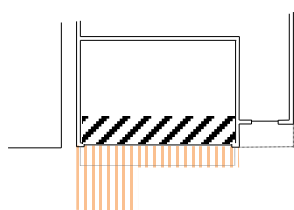
平面図

居間における土間(蓄熱部位)の設定

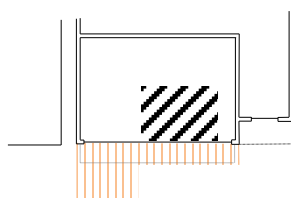
提案C-1

提案C-2

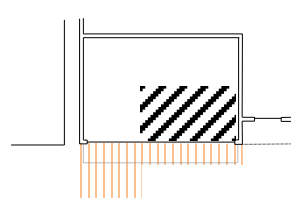
提案C-3



南側4分の1に6m²



直達日射が照射しやすい場所に6m²



直達日射が照射しやすい場所に8m²

図 5-5 空地(a)における樹木、開口部、蓄熱部位の配置の提案
(提案 C-1 の場合)

(2) 隣棟改修・空地活用案(空地(b), 建物(iii))

空地(b), 建物(iii)における樹木と開口部の配置の設定として提案 D-1~F-1 を示す(表 5-4)。空地(b)では既往研究の知見を踏まえた標準的な提案 D-1 として, ポケットパークの構成物として, 既往研究における採用例の上位であるベンチと生垣, あずまやを配置した案を示す(図 5-6)。この案では建物(iii)の西側の壁面の 1 階部分を日射遮蔽するように生垣を設置し, あずまやに沿って樹高 8m のケヤキを設置している。また, 建物(iii)の庭には夏季の南側開口部から室内への日射の透過を防ぐように樹高 7m のイロハモミジを配置し, 樹木の周りにデッキを設けている。提案 E-1 では建物の西側壁面にも開口部を設けることで冬季の集熱量の増加を図る。なお開口部は空地(a)からの視線を考慮し, 地面より 1.8m の高さに横長の窓を配置している。提案 F-1 では, 現状分析に基づき提案に対して建物(iii)の西側壁面への日射の照射への対策を行うために樹木の配置を行う。西側壁面とイベントスペースのデッキへの日射の照射を防ぐために樹高 8m のサクラを 3 本配置している(図 5-7)。

また, 蓄熱部位の配置は図 5-7 に示すように D-1~F-1 では居間の一部を土間として使うことを想定し, 居間の南側 4 分の 1 に配置している。

F-1 については蓄熱部位の配置, 面積が異なる案として, 西側の開口部の配置に合わせて蓄熱部位を L 字に配置した案 F-2, F-3 を設定する。F-2, F-3 は日射の照射しやすい位置に配置しており, F-2 は F-1 と同じ面積で蓄熱部位を配置し, F-3 は蓄熱部位の面積を大きくしている。

表 5-4 空地(b), 建物(iii)における提案の概要

	D-1	E-1	F-1	F-2	F-3
現状分析に基づいて樹木を配置	×	×	○		
現状分析に基づいて開口部面積を増やす	×	○	○		
蓄熱部位の配置, 面積を変更	×	×	×	配置	配置と面積

提案D-1

ポケットパークの構成物として、既往研究における採用例の上位であるベンチと生垣、あずまやを配置



提案E-1

西側の壁面も開口部を設けて居間の日射熱取得を増やす

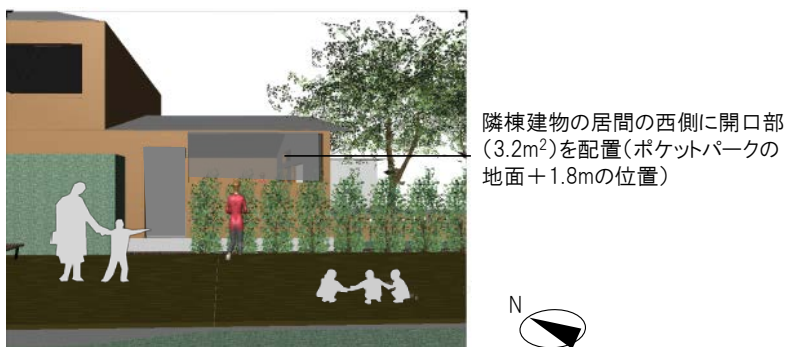


図 5-6 空地(b), 建物(iii)における樹木, 開口部の配置の提案
(提案 D-1, E-1 の場合)

提案F-1, F-2, F-3

- 夏季のポケットパークの熱放射環境と居間への日射熱取得への対策を検討

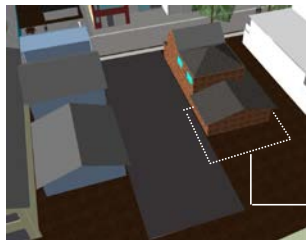


- 提案E-1と同様に西側の壁面も開口部を設けて居間の日射熱取得を増やす

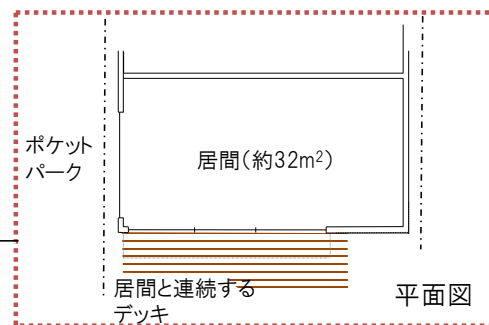


現状分析に基づいた樹木の配置
落葉樹(サクラ)
樹高8m, 葉張り5m, 樹冠下高さ2.5m×3本

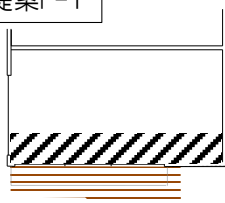
■蓄熱部位の配置



居間における土間(蓄熱部位)の設定



提案F-1



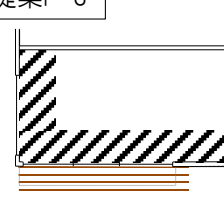
南側4分の1に8m²

提案F-2



南側, 西側の外周に
8m²配置

提案F-3



南側, 西側の外周に
11m²配置

図 5-7 空地 (b), 建物 (iii) における樹木, 開口部, 蓄熱部位の配置の提案
(提案 F-1, 2, 3 の場合)

5-4 提案した市街地の住宅における建築内外の熱環境の予測・評価

5-4-1 計算条件

気象条件：

2章で用いた拡張アメダス気象データ（土浦）冬季晴天日，夏季晴天日を使用する。

樹木の日射透過率：

提案においては様々な樹種を仮定しているが本研究では，常緑樹で0.1，落葉樹で夏季0.1，冬季0.8として入力している。

室温，換気の設定と冷暖房の発停：

本研究では建築外部空間の熱放射環境がダイレクトゲインシステムを適用した居室の室温に及ぼす影響を予測することを目的としていることから室温の設定は一日中自然室温とする。また換気量についても既往文献において夏季の夜間に換気回数を増加させ，蓄熱部位に蓄冷する方法（ナイトページ）が示されているが，同様の理由により，一日中窓を閉じた状態を仮定し，換気回数を0.5回/hとして設定する。

断面仕様：

空地(a)における新築建物，改修を行う建物(iii)については断熱性能は次世代省エネルギー基準の断熱性能を満たす断面仕様として4章で用いた断面仕様（表4-1）を設定する。

土間の蓄熱部位についても同様の設定とし，表4-1の蓄熱部位の断面仕様に従う。

5-4-2 樹木の配置が冬季と夏季の熱放射環境に及ぼす影響

樹木、開口部の配置が異なるそれぞれの提案における冬季の開口部における受熱日射量と夏季の熱放射環境のバランスを検討するために、3章で示した性能予測方法と既往の建築外部空間の熱収支解析を用いて冬季の居間の室温、夏季の熱放射環境と居間の室温を予測する。

(1) 空地(a)

図 5-8 に空地(a)における夏季晴天日 15 時の表面温度分布と生活空間高さ 1.5m の平均放射温度分布を、図 5-9 に空地に冬季の受熱日射量分布を示す。

まず、既往文献に基づく樹木、開口部の配置を行った提案 A-1 では提案した住宅の東側の住宅において中庭の中央に配置した生垣からの日射者遮蔽の影響を受け受熱日射量が減少することから、図 5-9 の点線で示した提案 A-1 の開口部において 10~12MJ/day・m² 程度の分布となっている。夏季の熱放射環境に着目すると隣棟の建物(i)の西側壁面の大部分が表面温度が 50℃に高温化していること、地表面が十分に日射遮蔽されておらず、デッキ部分が 45℃前後の表面温度となっていることから、中庭の建築外部空間の大半で 35℃以上の平均放射温度となっている。

一方で提案 B-1 では現状分析を踏まえて建物(i)の西側壁面を日射遮蔽し、居間の開口部と連続したデッキ部分に日射遮蔽の対策を行っていることから、中庭に面する建物(i)の壁面の表面温度の大半が気温相当から 40℃以下に抑えられており、デッキ部分のほとんどに日射遮蔽の影響が及び、表面温度は 35℃以下である。その結果、平均放射温度も通路部分では最大で 5℃、デッキ部分では最大で 3℃低下している。その反面、冬季では提案した 2 棟の住宅の境界にある生垣の日射遮蔽に加えて、配置する落葉樹の本数が増えたことから日射遮蔽の影響が大きくなり、開口部からの日射熱取得は提案 A-1 に比べて 12%減少している。

さらに冬季の日射熱取得の減少への対策として開口部の位置を変更した提案 C では、日射熱取得は提案 A-1 に比べて 3%の減少にとどまり、夏季の表面温度分布と平均放射温度分布は提案 B-1 とほぼ同一である。

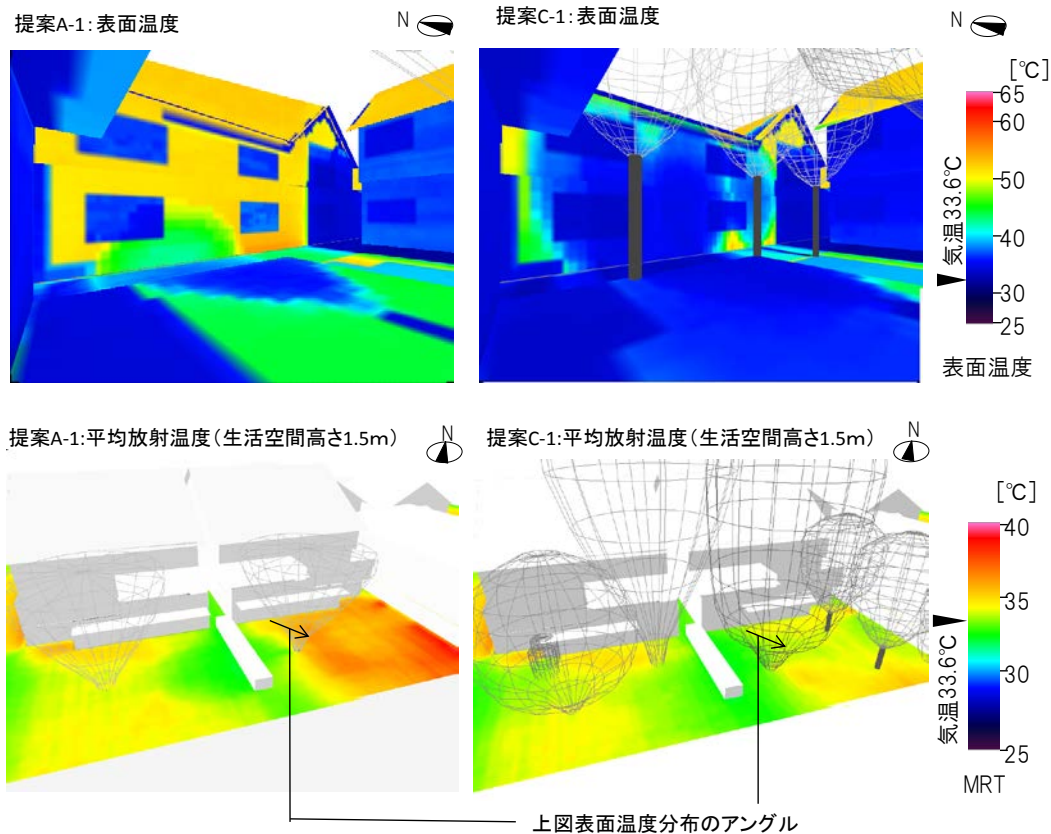


図 5-8 空地 (a) の提案における夏季晴天日の 15 時の表面温度分布と平均放射温度分布

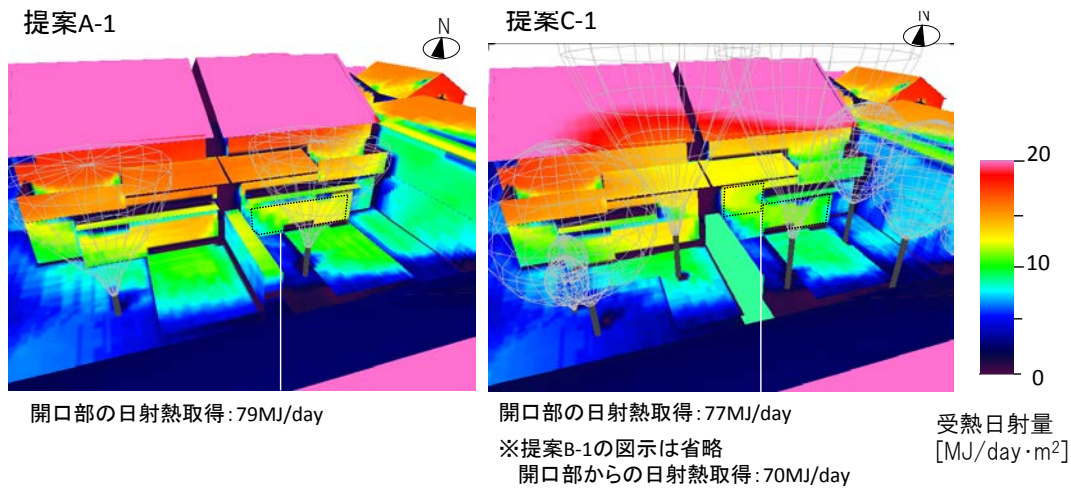


図 5-9 空地 (a) の提案における冬季晴天日の日積算受熱日射量分布

(2) 空地(b)

図 5-10, 図 5-11 に提案 D-1 における冬季の日積算受熱日射量分布と夏季の表面温度, 平均放射温度分布を示す。

提案 D-1 では, 建物(iii)との境界の一部に生垣を配置したことから平均放射温度分布が気温相当となっているが, 建物(iii)の通用口とした部分には日射が照射し表面温度が高温化することから平均放射温度は 38℃となっている。また, 建物(iii)の居間の西側には樹木を配置していないことから平均放射温度が気温より約 3℃高い。

提案 E-1 では現状分析に基づき開口部を西側壁面に設けていることにより開口部からの日射熱取得は提案 D-1 に比べて 13%大きくなる。一方で夏季の熱放射環境については壁面への西日の照射の対策をしていないことから提案 D-1 と同様の表面温度, 平均放射温度分布である。

提案 F-1 では現状分析に基づき西側壁面とポケットパークの表面の日射を遮蔽するように樹木を配置していることから開口部を配置した西側壁面付近の建築外部空間の熱放射環境が改善され, イベントスペースと位置付けた箇所の平均放射温度が気温相当となる。また, 日射遮蔽の影響は庭の南側にも及んでおり, 平均放射温度が提案 D-1, E-1 (提案 E-1 の図示は省略) と比べて 2℃程度小さい。他方で樹木の配置により西側壁面の冬季の受熱日射量分布が減少し, 提案 E と比べて居間の日射熱取得が 8%減少している。

以上から, 空地に住宅を新築する場合, 現状分析と同様に, 隣棟建物の壁面が西日により表面温度が高温化することを示した。さらにその対策として現状分析に基づいて落葉樹を複数配置した場合, 居間の開口部に連続したデッキと通路において最大で 5℃平均放射温度が減少するが, 冬季の日射熱取得は 10%以上低下する。また, 空地に隣接する住宅へのダイレクトゲインシステムの導入において, 壁面への西日の照射への対策として配置した樹木は 15 時の夏季の平均放射温度を最大で 2℃改善する一方, 冬季の日射熱取得を 8%減少させており, その冬季, 夏季双方の室温への影響について検討する必要がある。

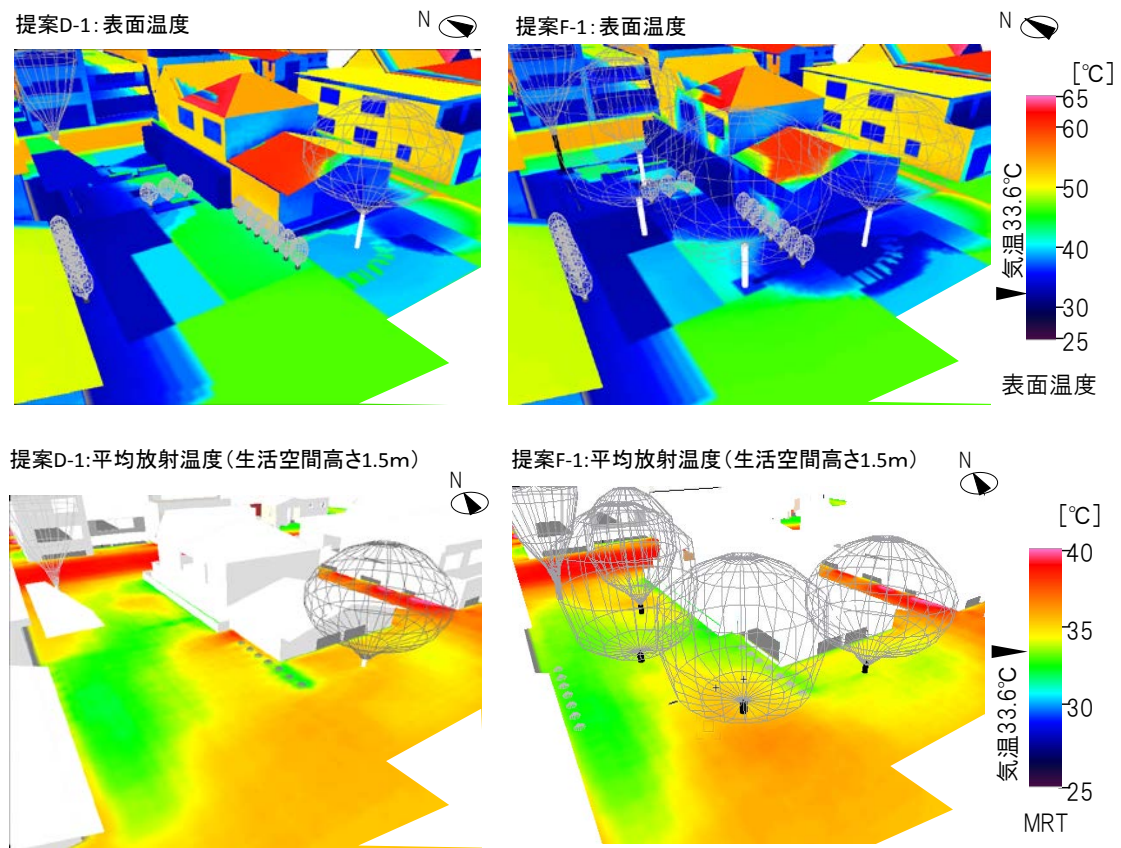


図 5-10 空地 (b) の提案における夏季晴天日の 15 時の表面温度分布と平均放射温度分布

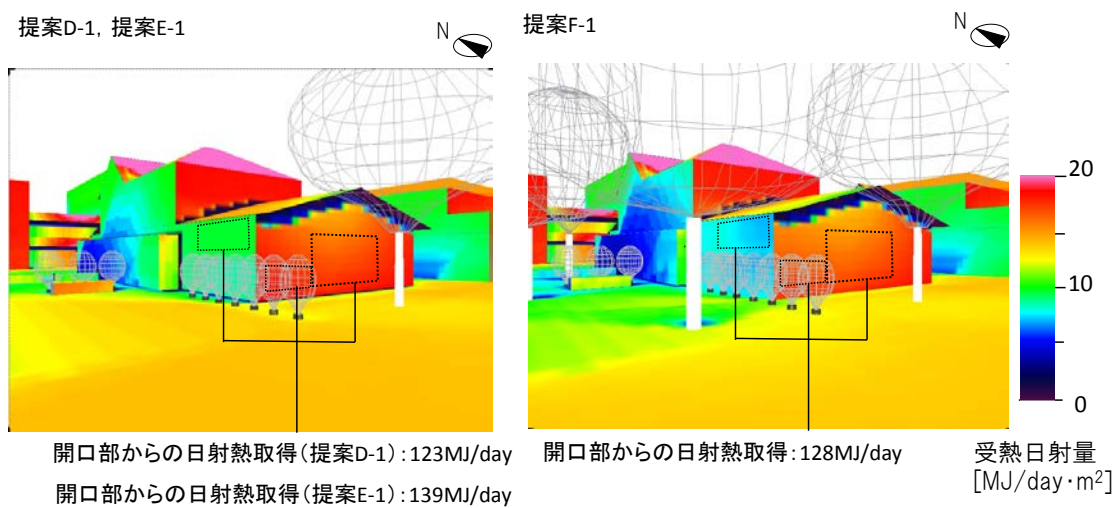


図 5-11 空地 (b) の提案における冬季の日積算受熱日射量分布

5-4-3 樹木、隣棟建物の日射遮蔽を考慮した開口部、蓄熱部位の配置が冬季・夏季の室温に及ぼす影響

(1) 空地(a)

図 5-12 に冬季晴天日の居間の床に入射する直達日射量分布を、図 5-13 に空地(a)における各提案の日射熱取得と蓄熱部位の吸収日射量の関係と室温を示す。

まず提案 A-1 と提案 B-1 を比較すると、提案 B-1 では樹木の配置を増やした結果、その結果、夏季の日射熱取得が 68%減少し、室温が最大で 1℃減少している。一方で冬季の日射熱取得が 12%減少している。図 5-12 の冬季の居間の床の日射量分布に着目すると、提案 A-1 では床の南側に $5.5 \sim 6 \text{ MJ/day} \cdot \text{m}^2$ の分布が生じているのに対し、 $5 \text{ MJ/day} \cdot \text{m}^2$ 以下である。以上から提案 B-1 では冬季の室温は提案 A-1 と比べて最大で 1℃低下している。

次に提案 C-1 では夏季の日射熱取得は提案 B-1 と比べて増加しているが、提案 A と比べて 53%減少し、提案 B-1 とほぼ同等の室温変化となっている。一方で冬季は開口部の配置の変更により、日射熱取得が提案 A-1 と比べて 3%の減少にとどまっている。しかし、提案 A-1, B-1 と異なり、開口部を高く配置していることから日射量の分布が床の広範囲に広がっている。よって、提案 C-1 の蓄熱部位が吸収する日射量は提案 A-1 と比べて 37%小さいため、室温変動が他の案より大きく、室温の最大値は提案 B-1 より 2℃高い値、室温の最小値は提案 B-1 とほぼ同等の値となっている。

更に、蓄熱部位の配置と面積を変更した場合として提案 C-2, C-3 に着目すると、蓄熱部位の日射の照射しやすい位置に蓄熱部位を配置した場合、冬季の蓄熱部位の吸収日射量を C-1 より 30～40%大きくできることから、提案 C-2 では室温変動幅が 1℃、C-3 では 2℃減少している。なお、夏季の室温変動については夏季の日射熱取得が冬季に比べて 5 分の 1 以下となっていることから提案 C-1, C-2, C-3 のいずれもほぼ一致した室温変動となる。

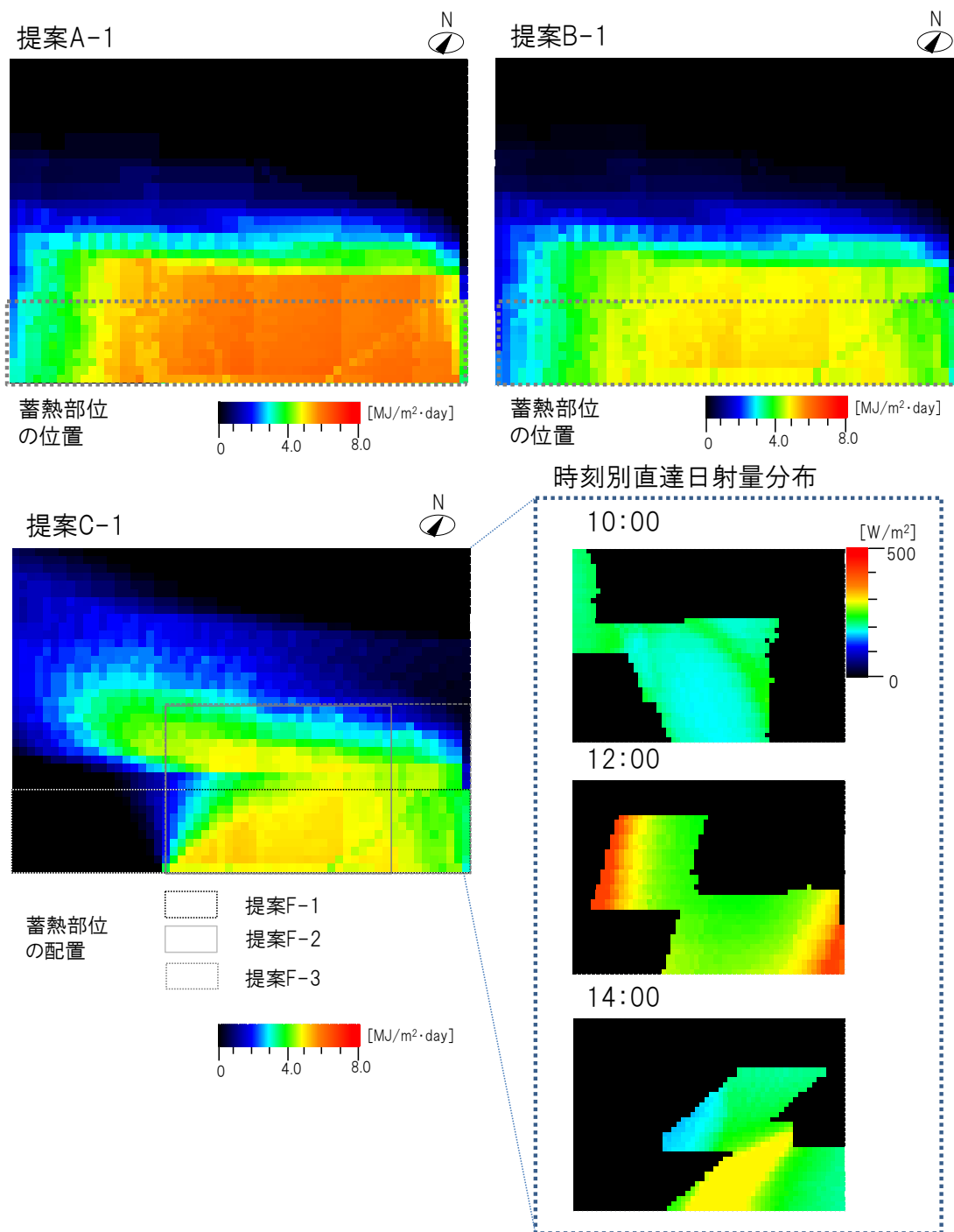


図 5-12 ダイレクトゲインシステムを導入する居間の床に入射する直達日射量分布
(冬季晴天日)

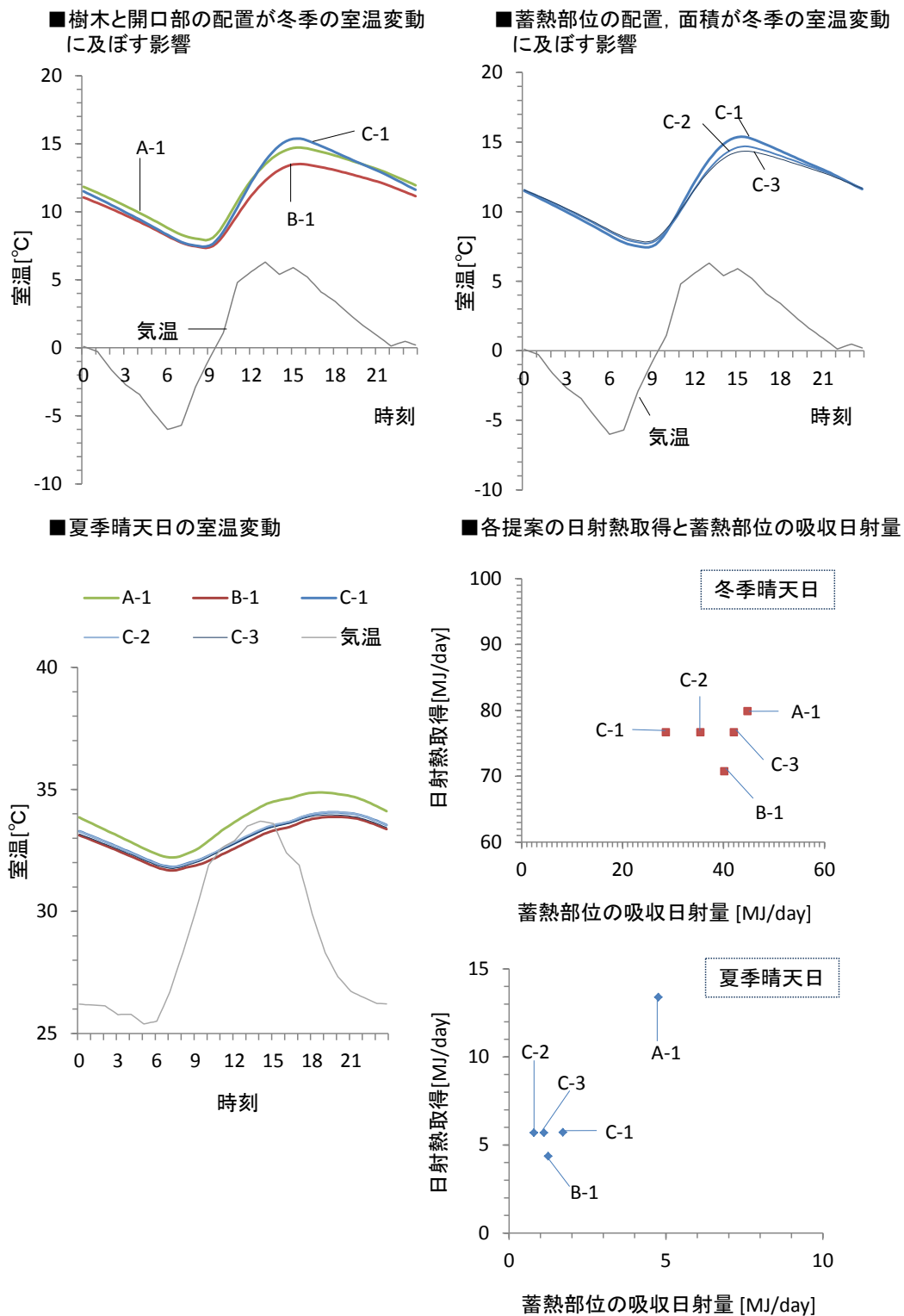


図 5-13 各提案の日射熱取得, 蓄熱部位の吸収日射量が
冬季, 夏季の室温に及ぼす影響

(2) 空地(b)

まず、提案 D-1 と提案 E-1 を比較すると、提案 E-1 では開口部の日射熱取得が冬季に 13%、夏季に 40%増加したことから、冬季の室温の最大値は提案 D-1 に比べて室温が 2℃上昇し、夏季の室温の最大値も 2℃大きい (図 5-15)。

つぎに、提案 F-1 では、西側壁面の日射遮蔽を行うために樹木を配置し、夕方の西側と南側の開口部から透過する直達日射を抑制したことから、夏季の日射熱取得は提案 D-1 と比べて約 20%減少し、提案 E と比べて室温の最大値を約 3℃抑制している。一方で、樹木の配置が冬季の日射熱取得に及ぼす影響は最大で約 1℃である。

さらに、蓄熱部位の配置、面積を変更した場合として提案 F-1, F-2, F-3 を比較した場合、F-2 は、蓄熱部位の配置が日射の照射が少ない西側に配置していることから (図 5-14)、蓄熱部位の吸収日射量が提案 F-1 と比べて 36%少なく、室温変動幅が 1℃大きい。配置の面積を増やした提案 F-3 については、面積を拡張した部分に入射する直達日射量が少ないため、蓄熱部位の吸収日射量は提案 F-1 とほぼ同等であり、室温変動も提案 F-1 とほぼ一致する。なお、夏季の室温変動については夏季の日射熱取得が冬季に比べて 5 分の 1 以下となっていることから提案 C-1, C-2, C-3 のいずれもほぼ一致した室温変動となる。

以上から、現状分析に基づいた提案では西日を遮蔽するように落葉樹を配置し、住宅の受熱日射量分布に基づいて開口部を配置したことで、配置した開口部の周りの建築外部空間において夏季に良好な熱放射環境を形成し、室温の上昇を抑制しながらも、冬季に高い室温を維持することを示した。さらに、樹木、開口部の配置によって決まる室内に入射する日射の分布を考慮して蓄熱部位を配置することによって冬季の室温をより高く安定させることができることを示した。

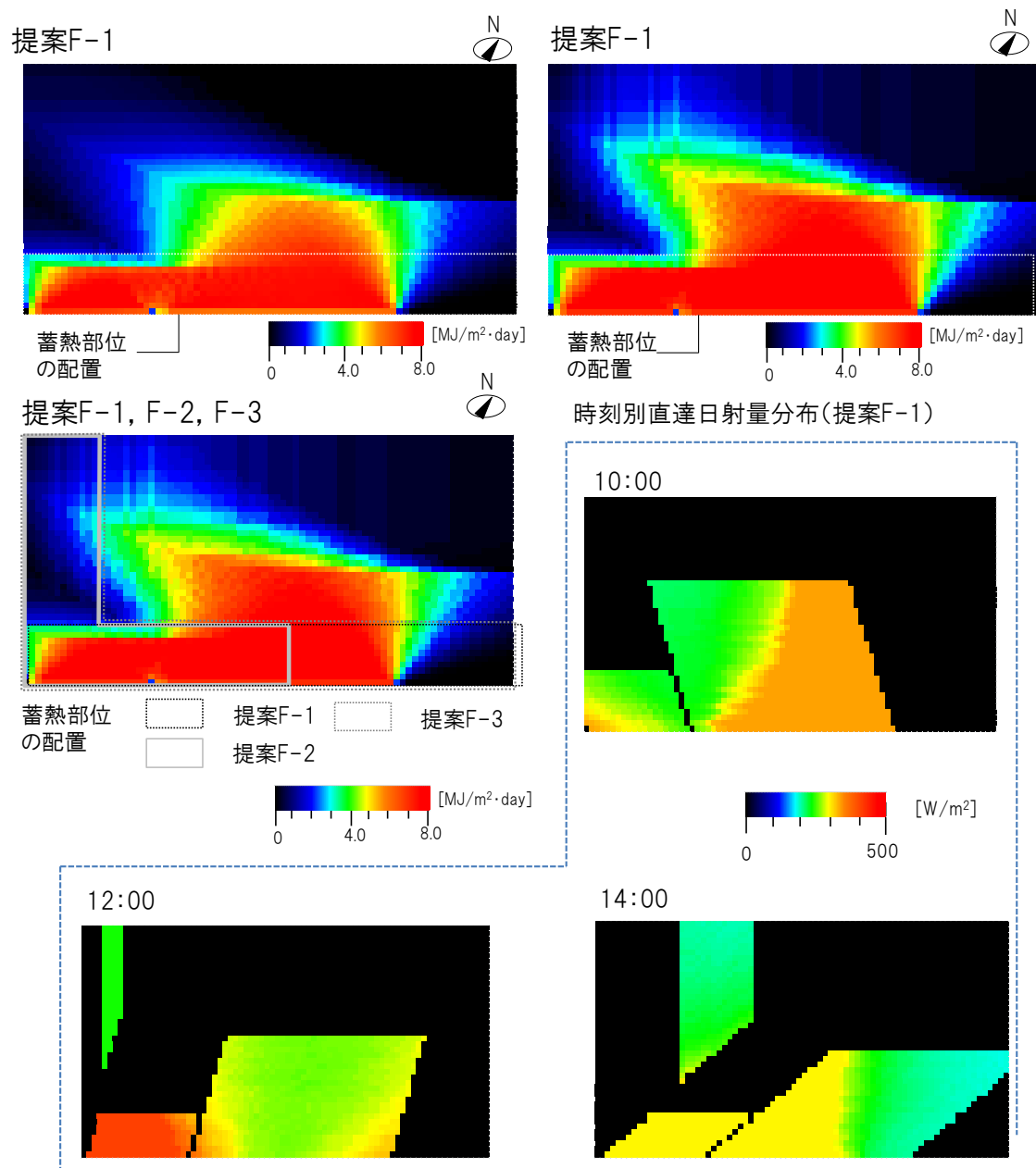
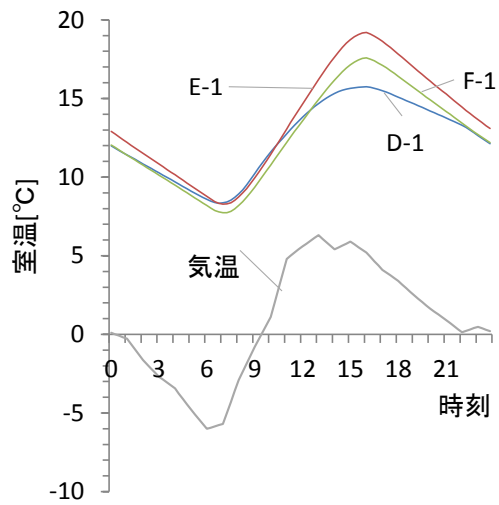
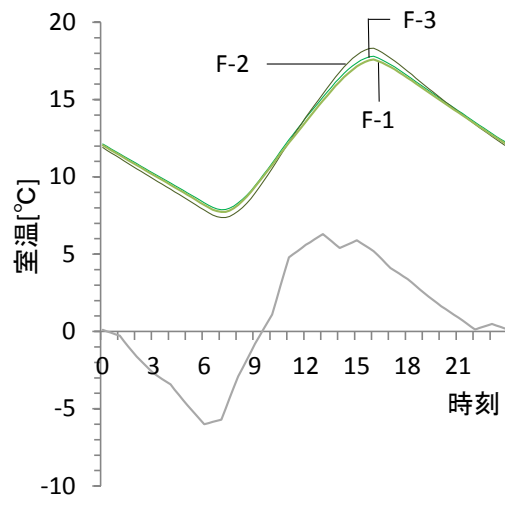


図 5-14 ダイレクトゲインシステムを導入する居間の床に入射する直達日射量分布
(冬季晴天日)

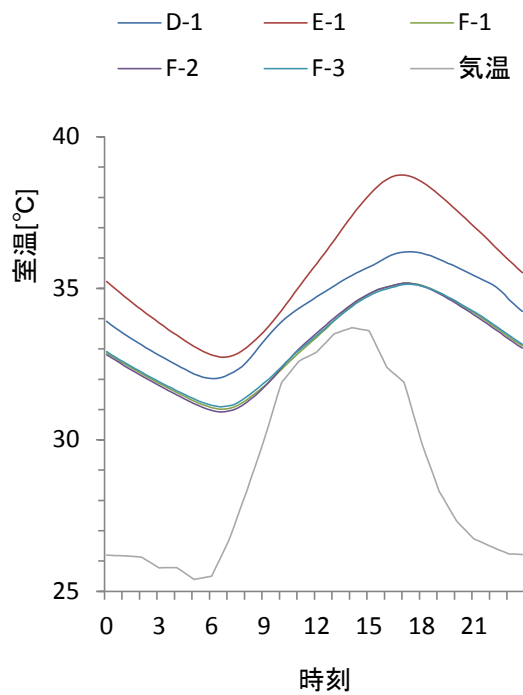
[A] 樹木と開口部の配置が冬季の室温変動に及ぼす影響



[B] 蓄熱部位の配置, 面積が冬季の室温変動に及ぼす影響



[C] 夏季晴天日の室温変動



[D] 各提案の日射熱取得と蓄熱部位の吸収日射量

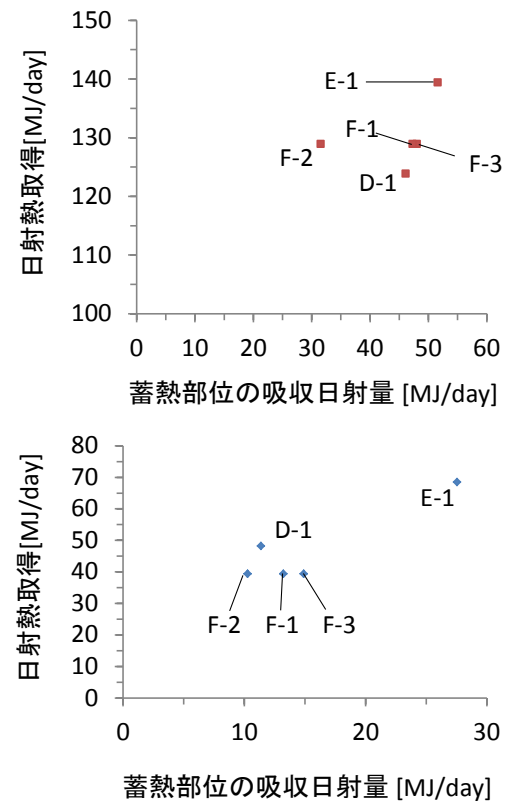


図 5-15 各提案の日射熱取得, 蓄熱部位の吸収日射量が
冬季, 夏季の室温に及ぼす影響

5-5 まとめ

隣棟建物、樹木、屋外構造物が混在する対象市街地の住宅においてダイレクトゲインシステムを提案し、樹木や住宅の設計要素を検討できることを示すために、対象市街地から対象敷地を選定し、住宅へのダイレクトゲインシステムの導入において既往研究に基づいた案と第2章の現状分析に基づいた案を複数提案した。さらに、3章で示した性能予測方法による数値解析によって、既往研究に基づいた案と第2章の現状分析に基づいた樹木と開口部、蓄熱部位の配置を行った案の比較を行った。本章で得られた知見は以下の通りである。

- (1) 市街地における空地の活用法や住宅の建築外部空間の既往研究から提案する市街地の住宅における与条件を整理した。さらに対象市街地内の住宅において整理した与条件を踏まえ、建築内外の熱環境に配慮した樹木、開口部、蓄熱部位の配置を示した。
- (2) 住宅の中庭に面した居室へのダイレクトゲインシステムの導入において、現状分析に基づいて隣棟建物と開口部を日射遮蔽するように樹木を配置し、隣棟建物と隣棟建物と生垣による日射遮蔽を考慮して開口部と蓄熱部位を配置した。その結果夏季の開口部に面したデッキに良好な熱放射環境を形成し、居間の室温の上昇を抑制しながらも、冬季にはダイレクトゲインの効果が発揮され高い室温を維持できることを示した。
- (3) 空地に隣接する住宅へのダイレクトゲインシステムの導入において、日射熱取得を増やすための開口部と、夏季の建築外部空間の熱放射環境と居間の室温上昇への対策のための樹木を現状分析に基づいて配置することで、夏季の空地に良好な熱放射環境を形成し、居間の室温上昇を抑制しつつも、冬季の日中の室温を高く維持できることを示した。

以上から、既往研究に基づいて配置した案と比べて、第2章の現状分析に基づいた樹木と開口部、蓄熱部位の配置が夏季に良好な熱放射環境を形成し、夏季の室温の上昇を抑制しながらも、冬季に高い室温を維持することを示した。また、第3章で示した性能予測方法によって建築内外の熱環境を同時に予測し、樹木と住宅の設計要素が検討できることを示した。

参考文献

- 5-1) 大庭哲治:歴史的都心地区における駐車場立地と景観保全, 都市計画, Vol.60, No.1, pp.45-48, 2011
- 5-2) 金沢市 まちなか居住促進事業,
<http://www4.city.kanazawa.lg.jp/29101/jyuutaku/machijyuu/index.html>,
2013.5.17 閲覧
- 5-3) 富山市 まちなか居住促進事業, <http://www.city.toyama.toyama.jp/toshiseibibu/toshisaiseiseibika/jyutakuseisaku/kyojusuishinjigyo.html>, 2013.5.17 閲覧
- 5-4) 小山市 街なか居住促進事業,
<http://www.city.oyama.tochigi.jp/gyosei/machizukuri/machizukuri/oyamaekishuhenseibi/machinakakyojyu.html>, 2013.5.17 閲覧
- 5-5) 土浦市基本計画
http://www.city.tsuchiura.lg.jp/cms/data/doc/1219236180_doc_3.pdf, 2013.5.17 閲覧
- 5-6) 木下勇, 中村攻:太子堂地区を事例とする参加型地区計画におけるオープンスペース創出過程に関する研究, ランドスケープ研究, Vol.60, No.5, pp.691-694, 1997
- 5-7) 槇賢志, 横張真, 渡辺貴史, 雨宮護:東京都特別区における未利用地活用型オープンスペースの空間的特徴と周辺環境との関係, ランドスケープ研究, Vol.68, No.5, pp.867-870, 2005
- 5-8) 伊藤弘:東京都足立区における低・未利用地の活用方策に関する研究, ランドスケープ研究, Vol.67, No.5, pp.763-766, 2004
- 5-9) 渡部一二:「水車のあるポケットパーク」づくり, 水のまち郡上八幡のポケットパーク計画から, 造園雑誌, Vol.50, No.1, pp.1-4, 1986
- 5-10) 熊野稔, 亀野辰三, 湯沢昭, 岩立忠夫:ポケットパークの活用と管理における自治体の動向と評価, ランドスケープ研究, Vol.64, No.5, pp.675-678, 2001
- 5-11) 熊野稔, 亀野辰三, 丸山輝彦, 上野正樹:ポケットパークの設立目的と空間特性, ランドスケープ研究, Vol.65, No.5, pp.801-804, 2002
- 5-12) 寺内美紀子, 坂本一成, 奥山信一:建築外部空間の分節と配置形式, 領域的性格からみた建築外部空間の構成形式に関する研究:日本建築学会計画系論文集, No.491, pp.91-98, 1997

- 5-13) 梅津光男, 坂本磐雄, 藤田一枝: 地方都市住居における庭の空間構成とその変容-
青森県八戸市におけるケーススタディ-, 日本建築学会計画系論文集, No.535,
pp.83-90, 2000
- 5-14) 平田圭子, 森保洋之: 開口部を中心とした住宅の内・外部空間の意識の領域に関
する研究 その1, 日本建築学会計画系論文集, No.505, pp.75-82, 1998
- 5-15) 小林尚代, 北原理雄, 神谷文子: コートハウスにおける中庭とプラン構成に関す
る研究 都市型住宅としてのコートハウスの研究, 日本建築学会大会学術講演梗
概集, pp.183-184, 1988
- 5-16) 村田涼, 根ヶ山愛子, 安田幸一: 現代日本のコートハウスにおける中庭の設えと
居間の連繋, 日本建築学会計画系論文集, No.676, pp.1365-1371, 2012
- 5-17) 竹嶋祥夫, 住友むつみ: 一戸建て住宅戸外空間の圍繞形態とプライバシー感に関
する研究, 日本建築学会計画系論文集, No.576, pp.1-7, 2004
- 5-18) 井上加奈子, 仙田満, 矢田努, 井上寿: 戸建住宅地における塀の形態と住民意識
に関する研究, 日本造園学会誌, Vol.63, No.5, pp.683-686, 2000
- 5-19) 野口孝博, 足達富士夫: 住戸外空間の形と性格 1. 独立住宅の庭, 日本建築学
会論文報告集, No.328, pp.103-112, 1983
- 5-20) 豊川悠, 梅津光男: 新しい地方都市住居の庭における空間構成の特質, 日本建築
学会大会学術講演梗概集, pp.349-350, 2010
- 5-21) 世田谷区, 建築にともなう緑化のための植栽ガイドブック,
<http://www.city.setagaya.lg.jp/kurashi/102/126/411/412/d00029589.html>,
2013.5.17 閲覧
- 5-22) (財) 住宅, 建築省エネルギー機構編: パッシブシステム住宅の設計, 丸善, 1985
- 5-23) 長谷川洋, 玉置伸悟: 住要求, 敷地条件からみた新築, 戸建て住宅の空間構成型,
日本建築学会計画系論文報告集, No.496, 1997

第 6 章 総括

6-1 総括

6-2 今後の課題

謝辞

発表論文一覧

6-1 総括

本研究ではダイレクトゲインシステムを導入した住宅において建築内外の熱環境を予測する方法を示し、その方法を市街地の住宅に適用することによって、周囲を建物が建ち並ぶ敷地において冬季と夏季の両時季の建築内外に快適な熱環境を形成可能であることを示した。まず、実際の市街地を対象とした数値解析により屋外熱環境の現状とダイレクトゲインシステムの導入可能性を分析した。さらに建築外部空間の熱放射環境の予測を行いながらダイレクトゲインシステムの性能を予測する方法を示し、建築内外の設計要素が室温変動に及ぼす影響を分析した。最後に対象市街地の住宅の提案と本研究の性能予測方法による熱環境の予測を通じて、ダイレクトゲインシステムを導入した住宅の建築内外において冬季と夏季に良好な熱環境を形成できることを明らかにした。

各章で得られた知見は以下の通りである。

第1章「序論」では、市街地の住宅における建築内外の熱環境に配慮した設計を行う意義について述べたうえで、住宅のパッシブデザインとしてダイレクトゲインシステムに着目する意義を述べ、さらに、隣棟建物や樹木の日射遮蔽による冬季の日射熱取得の減少、建築外部空間における夏季の熱放射環境を同時に予測することを課題として挙げた。以上から、ダイレクトゲインシステムを導入した市街地の住宅において、樹木や隣棟建物による日射遮蔽が夏季の建築外部空間の熱放射環境と冬季、夏季の室内熱環境に及ぼす影響を示すことを本研究の目的として述べた。

第2章「市街地の屋外熱環境の現状とダイレクトゲインシステムの導入可能性の分析」では市街地の住宅において建築内外の熱環境に配慮した設計を行うための課題として、冬季のダイレクトゲインシステムの性能への影響と夏季の建築外部空間の熱放射環境に着目し、実在市街地の数値解析を行うことで課題を抽出した。実在市街地の数値解析を行った結果、南北に細長い敷地が密集する対象市街地において、東西の隣棟建物による日射遮蔽の少ない箇所は間口の広い空地の中央部と隣棟建物の階高が小さい箇所であり、これらの箇所と空地の隣棟建物の南側、西側壁面においてダイレクトゲインシステムにおける開口部の配置の可能性があることを示した。また、冬季の日射遮蔽の影響が少なく、開口部の配置が検討できる箇所における夏季の建築外部空間の熱放射環境を分析した結果、地表面と西日の照射により表面温度が高温化する西側壁面への対策が課題であることを示した。

第3章「建築外部空間の熱収支シミュレーションと連係したダイレクトゲインシステムの性能予測方法」では建築外部空間の熱放射環境を考慮したダイレクトゲインシステムの性能予測方法を示した。まず、本研究が対象とするダイレクトゲインシステムの性能予測方法の要件を示し、既往研究の課題を抽出した。次に、示した要件を踏まえ、樹木と隣棟建物によって形成される建築外部空間の熱放射環境が、室温に及ぼす影響を予測するために、既往研究において構築された建築外部空間の熱収支シミュレーションと建物熱負荷計算の連成方法を採用することを決定した。さらに、既往の連成手法においてメッシュ分割の範囲を室内の内壁、床、天井に拡張することによって、ダイレクトゲインシステムの性能予測において室内の表面に入射する直達日射量の空間分布と、その室温への影響を予測する方法を示した。

第4章「建築内外の設計要素がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響の解析」では第3章で提案した性能予測方法についての有用性を示すために、建築内外の設計要素がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響を示した。はじめに提案した性能予測方法に存在する誤差要因として、室内への透過日射の解析における空間分解能が解析結果に及ぼす影響を感度解析により確認し、メッシュ分割による誤差範囲を位置づけた。さらにダイレクトゲインシステムの性能予測において影響の大きい建築内外の設計要素として、樹木に着目し、それぞれの計算ケースにおける日射熱取得、蓄熱部位の吸収日射量と室温の関係を分析し、樹木の配置、形状、日射透過率の違いがダイレクトゲインシステムの室温の低下に及ぼす影響を示した。さらに樹木により日射遮蔽される状況において蓄熱部位の配置、面積が室温変動に及ぼす影響を確認した結果、日射遮蔽の影響を踏まえた蓄熱部位の配置が冬季の室温変動幅の抑制に有効であることを示した。

第5章「市街地の住宅におけるダイレクトゲインシステムの提案と建築内外の熱環境の予測・評価」では市街地の住宅において冬季と夏季に良好な熱環境を形成する提案として、2章の対象市街地においてダイレクトゲインシステムを導入した住宅を提案し、その建築内外の熱環境を3章で示した性能予測方法により予測・評価した。まず、対象市街地から対象敷地を選定し、既往研究や2章の現状分析に基づいて市街地の住宅を提案した。さらに提案について冬季と夏季の建築外部空間の熱放射環境と室温の予測を行い、提案の比較を行った。既往研究に基づいて樹木と開口部、蓄熱部位を配置した提案と比べて、第2章の現状分析に基づいた提案が夏季に良好な熱放射環境を形成し、夏季の室温の上昇を抑制し

ながらも，冬季に高い室温を維持することを示した。また，以上の結果から第3章で示した性能予測方法によって建築内外の熱環境を同時に予測し，樹木と住宅の設計要素が検討できることを示した。

6-2 今後の課題

（１）本研究課題の内容に関連して

<数値シミュレーション上で設定した仮定に関して>

3章で示した性能予測方法はダイレクトゲインシステムを対象とし、居室の上下温度分布を仮定していない。しかしながら、吹抜けのある居室は開口部を大きくとることができることから日射の集熱の面から有効な空間である反面、上下温度分布により、集熱、蓄熱した熱が有効に活用できない等の問題があり、数値解析のような手法により検討すべき対象である。

本研究におけるそのほかの数値シミュレーション上の仮定としては、室内表面に入射する直達日射量の算出において室内の家具の影響を考慮していない点、室内の日射反射を均等拡散反射と仮定した点、壁体における熱伝導を1次元と仮定している点が挙げられる。本研究で示した住宅の設計提案よりも詳細な設計を数値シミュレーションにより検討する場合、これらの課題に対応した計算を行うことが必要となる。

<数値シミュレーションの解析の精度に関して>

本研究では空間分解能を建築の内外で同一の空間分解能でメッシュ分割を行っていることから、建築内外や底近傍のメッシュサイズを変更させた放射解析手法の開発についても課題である。また、東西に極端に細長いボリュームを有し、室の容積に対する開口部面積が大きい場合など、空間形態の再現性の誤差が顕著な場合の解析精度の向上も課題である。

（２）本研究を踏まえた今後の展開について

<a. 建築外部空間の微気候が室内気候に及ぼす影響の予測>

本研究では樹木等の建築外部空間の空間形態・構成材料が短波長・長波長放射場を調整し、建築外皮からの熱貫流と開口部からの日射入射に伴う熱の侵入を抑制することにより室温を調整する効果に対象を限定してきた。しかし、樹木、風通しの改善や蒸発冷却手法といった様々な手法を用いて建築外部空間の微気候を改善し、室内気候の改善に生かしていく市街地のパッシブデザインの視点からは、通風が室内気候に及ぼす影響や、樹木や隣棟建物によって生じる気温、湿度分布等の影響も想定できる。特に、市街地における気流分布の予測は（１）で示した室内の換気量の予測において考慮が必要である。

＜b. 建築内外の熱環境を予測するための設計支援ツールの開発＞

パッシブソーラーシステムは機械の設計とは異なり、建築の設計自体が、熱的な性能の設計となることから、建築内外の設計要素を検討しながらパッシブソーラーシステムの性能を予測することとなる。しかし、3章で示した性能予測方法を用いるためには煩雑なパラメータをテキストで入力する必要があり、設計者が建築内外の設計要素を検討するツールとはなっていない。設計者が使用するツールを構築するためにはパッシブソーラーシステムの設計行為の中に本研究のような数値解析手法を位置づけることのできる手法が必要である。

＜c. 本研究で示した性能予測方法の使われ方と可視化方法の工夫＞

本研究で示した方法の使われ方については、設計者や設計者と協働する環境の専門家（エネルギー消費の解析を行うコンサルタント等）が、①建築外部空間の熱放射環境の予測により事前に敷地の現状分析を行うこと、②①の結果に基づき、複数の住戸の配置計画や住宅の基本計画を（住宅の断面、平面計画や開口部の配置、建築外部空間における樹木やデッキの配置等）行うことが想定される。また、可視化された解析結果は施主や住民に、樹木や開口部、蓄熱部位の配置の効果を示すため、施主や住民が環境調整行動を行うための情報としての活用されることも想定できる。ただし、現段階では室温については室内側を各室一質点として表現していること、CAD上の解析結果について建築内外の熱環境を同時に可視化する工夫を行っていないことから、これらの課題に対応する可視化の方法について今後検討していく必要がある。

謝辭

謝辞

本研究を行うにあたり、多くの皆様のご指導とご協力を賜り、心から感謝申し上げます。東京工業大学連携教授 梅干野晁先生には論文のご指導に加え、研究者としての姿勢、環境設計に対する思想等様々な毎を熱心に教えていただきました。心より感謝いたします。同准教授浅輪貴史先生には、ゼミの準備から各学会の原稿執筆まで、丁寧で的確なご指導を頂くとともに、建築内外を空間横断的にとらえる本研究の視点を示していただきました。深く感謝するとともに敬意を表します。

東京工業大学教授 田村哲郎先生、同准教授 中村恭志先生には中間発表会等、機会のあるごとに貴重なご指導とご助言をいただきました。学部時代の指導教員である東京工業大学准教授湯浅和博先生には、学部時代より環境工学の基本的な考え方から博士論文発表のスタンスに至るまで数多くの貴重なご助言をいただきました。深くお礼申し上げます。

東京工業大学教授 藤井修二先生にはE Eゼミの場で、3章における数値解析手法の位置づけについて貴重なご助言を賜りました。

佐賀大学准教授 中大窪千晶先生（当時東京工業大学 助教）には、論理的な文章の書き方から研究に対する方向性に至るまで、的確なご指摘を賜りました。ミサワホーム総合研究所（当時東京工業大学特別研究員）佐藤理人氏には修士課程時代、学会発表や修士論文の執筆において常に懇切丁寧にご指導いただき、私が研究に行き詰っている時も全面的にご支援いただきました。ダイレクトゲインシステムの性能予測方法の開発に当たっては、日立製作所 馮新淇氏（当時東京工業大学大学院生）には解析、図表の作成と本研究の多くの部分を担っていただきました。

大学の研究生生活におきましては、秘書 薄葉千景氏に研究室での生活、研究の遂行と多方面にわたって大変お世話になりました。東京工業大学特別研究員 高田真人氏には建築家とのコンペ、環境設計の教材開発のプロジェクトと機会あるごとに、環境設計に関する議論を数多くさせていただき、本研究の遂行にあたって多くの励ましもいただきました。東京工業大学特別研究員 熊倉永子氏には、短縮修了、日本学術振興会特別研究員の手続きから生活面まで何かと機会あるごとにご助言いただき、激励してくださいました。修士課

程からの同期で共に博士課程へと進学することとなった東京工業大学博士課程，押尾晴樹氏には研究や私生活を通して，幾度となく助けられ励まされました。

最後に、博士課程進学を快く受け入れ、温かく見守り続けてくださった家族に深く感謝いたします。本研究は梅干野研究室・浅輪研究室をはじめ、数多くの方々のご協力により遂行することができたものであり，全ての方に改めて深くお礼申し上げます。

2013 年 6 月 河合英徳

発表論文一覧

【審査付論文】

- 1) 梅干野晃,浅輪貴史,佐藤理人,河合英徳, 中村勉:歴史的街並を有する市街地における建物の空地化とその環境影響の評価, 一数值シミュレーションによる空地化が夏季熱環境と建物熱負荷量に及ぼす影響の解析一, 日本建築学会環境系論文集 Vol.75, No.656, pp. 899-905,2010.10(第2章)
- 2) 河合英徳, 梅干野晃, 浅輪貴史, 佐藤理人, 中村勉: 地方中心都市の市街地における空地の活用法の提案と熱環境の評価, 環境の管理, 日本環境管理学会誌, No.72, pp11-20, 2011.5 (第5章)
- 3) 河合英徳, 浅輪貴史, 梅干野晃: 建築外部空間の熱放射環境がダイレクトゲインシステムの性能に及ぼす影響の数値解析: 日本建築学会環境系論文集 (掲載決定) (第3章)

【国際会議 (全文審査付プロシーディング)】

- 1) Hidenori Kawai and Akira Hoyano, Takashi Asawa, Rihito Sato Ben Nakamura, Miwako Nakamura: Proposal of Environmental Design for Vacant Lots in a Local Center City of Japan and Evaluation of the Thermal Environment, The 10th International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering, pp.7-12, Seoul, Korea, 2010.11(口頭発表, 全文審査付き)
- 2) Hidenori Kawai and Akira Hoyano, Takashi Asawa, Rihito Sato, Ben Nakamura, Miwako Nakamura: Proposal and Evaluation of the Environmental Design for the Vacant Lots in a Japanese Historical Urban District, PLEA2011 The 27th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Louvain-la-Neuve, Belgium, pp565-570, 2011.7 (口頭発表, 全文審査付き)
- 3) Hidenori Kawai, Takashi Asawa and Akira Hoyano: Performance Prediction for Direct Heat Gain Systems Considering the Outdoor Thermal Radiation Environment, PLEA2012 The 28th International Conference on Passive and Low Energy Architecture, Lima, Peru (口頭発表, 全文審査付き 2012.11)
- 4) Hidenori Kawai, Takashi Asawa and Akira Hoyano: Radiative heat transfer simulation between outdoor and indoor spaces for predicting the performance of a direct heat gain system, ASim2012 The 1st Asia conference of International Building Performance Simulation Association, Shanghai, China (ポスター発表, 全文審査付き 2012.11)

【国際会議 (アブストラクト審査あり)】

- 1) Hidenori Kawai and Akira Hoyano, Takashi Asawa, Rihito Sato: Proposal and Evaluation of Urban

Block and Buildings Making Use of Natural Energy in a Japanese Historical Urban District,
Renewable Energy 2010, P-At-16, Yokohama, Japan, 2010.6 (ポスター発表, アブストラクト審査
あり) **Best Poster Award受賞**

【口頭発表】

- 1) 河合英徳, 梅干野晃, 浅輪貴史, 佐藤理人: 駐車場の緑化による街区の熱環境改善とエネルギー消費量削減効果の評価, 日本ヒートアイランド学会第4回全国大会, 横浜, pp.68-69, 2009.8
- 2) 河合英徳, 梅干野晃, 浅輪貴史, 佐藤理人, 中村勉: 歴史的な街並を有する市街地における低炭素社会を目指した街区の将来像の提案と評価 その1 将来像の提案に向けた街区の熱環境・エネルギー消費量の現状分析, 日本環境管理学会大会 2010 学術講演梗概集, 東京, pp.27-30, 2010.5
- 3) 河合英徳, 梅干野晃, 浅輪貴史, 佐藤理人: 市街地における空地化が屋外熱環境・建物熱負荷に及ぼす影響の数値解析: 日本建築学会大会学術講演梗概集, 富山, D-1, pp. 803-804, 2010.9
- 4) 河合英徳, 梅干野晃, 浅輪貴史, 佐藤理人: 歴史的な街並を有する市街地における低炭素社会を目指した街区の将来像の提案と評価 その3 提案した街区の予測・評価, 日本環境管理学会大会 2011 学術講演梗概集, 東京, pp.93-96, 2011.5
- 5) 河合英徳, 浅輪貴史, 梅干野晃: 街区・建築のパッシブデザインにおける建築内外の微気候の予測・評価手法の提案, 日本ヒートアイランド学会第6回全国大会, つくば, pp.76-77, 2011.7
- 6) 河合英徳, 浅輪貴史, 梅干野晃: 街区・建築設計における3D-CADを用いたパッシブデザインツールの開発-その1 パッシブデザインツールの枠組みの提案-, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 東京, D-1, pp.1111-1112, 2011.8
- 7) 河合英徳, 高田真人, 梅干野晃: 建築環境設計のプロセスの習得を目的とした授業プログラムの開発 その2 数値シミュレーションの建築環境設計のための授業への導入における課題の抽出, 2011年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.101-104, 2012.3 **若手優秀研究報告受賞**
- 8) 河合英徳, 高田真人, 梅干野晃: 建築環境設計のプロセスの習得を目的とした授業プログラムの開発 その2 数値シミュレーションの建築環境設計のための授業への導入における課題の抽出, 日本建築学会関東支部審査付き研究報告採用研究報告, pp.77-80, 2012.3 [(7)と同

一内容]

- 9) 河合英徳, 浅輪貴史, 梅干野晃: 屋外空間の樹木がダイレクトヒートゲインシステムの性能に及ぼす影響の予測・評価, 日本環境管理学会大会 2012 学術講演梗概集, 東京, pp.17-20, 2012.5
- 10) 河合英徳, 浅輪貴史, 梅干野晃: 建築外部空間の熱放射環境を考慮したダイレクトヒートゲインシステムの性能の予測・評価, 日本ヒートアイランド学会第 6 回全国大会, 京都, pp.92-93, 2012.7
- 11) 河合英徳, 浅輪貴史, 梅干野晃: ダイレクトヒートゲインシステムの性能予測を目的とした建築内外の伝熱解析手法の提案 街区・建築設計における 3D-CADを用いたパッシブデザインツールの開発 その 2
日本建築学会大会学術講演梗概集, 名古屋, D-2, pp.23-24, 2012.9

※申請者が共著の口頭発表論文

- 1) 梅干野晃, 浅輪貴史, 佐藤理人, 河合英徳, 中村美和子, 中村勉: 歴史的な街並を有する市街地における低炭素社会を目指した街区の将来像の提案と評価 その 2 街区の将来像の提案, 日本環境管理学会大会 2010 学術講演梗概集, 東京, pp.31-34, 2010.5
- 2) Rihito Sato, Takashi Asawa, Akira Hoyano, Hidenori Kawai: Numerical Analysis of Changes in Indoor and Outdoor Thermal Environment for Historical Urban District in Past Decades, URBIO2010 International Conference, P-58, Nagoya, Japan, 2010.5 (ポスター発表, アブストラクト審査あり)
- 3) 高田真人, 河合英徳, 梅干野晃: 建築環境設計のプロセスの習得を目的とした授業プログラムの開発 その 1 数値シミュレーションを導入した建築環境設計の授業の試行, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.97-100, 2012.3

【その他】

受賞

- 1) Hidenori Kawai and Akira Hoyano, Takashi Asawa, Rihito Sato: Proposal and Evaluation of Urban Block and Buildings Making Use of Natural Energy in a Japanese Historical Urban District, Renewable Energy 2010, P-At-16, Yokohama, Japan, 2010.6, **Best Poster Award**
- 2) **冬夏賞**, 冬夏会（東京工業大学建築系同窓会）, 2011.3
- 3) 河合英徳, 高田真人, 梅干野晁：建築環境設計のプロセスの習得を目的とした授業プログラムの開発 その2 数値シミュレーションの建築環境設計のための授業への導入における課題の抽出, 2011 年度日本建築学会関東支部研究報告集, 101-104, 2012.3, **若手優秀研究報告賞**

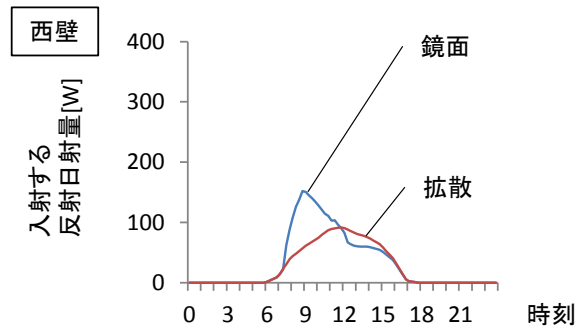
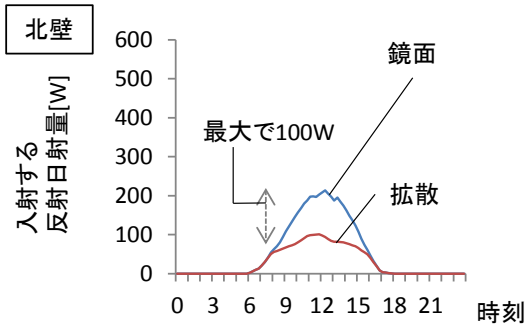
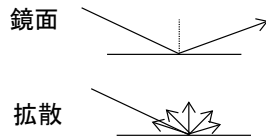
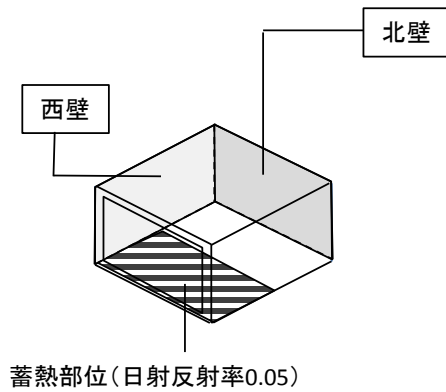
付録

付録1: 室内表面における日射の反射を均等拡散面と仮定していることの影響

蓄熱部位における日射の反射を均等拡散面と仮定した場合と鏡面反射と仮定した場合の比較

*気象条件、建物条件は断りのないものについては第4章の解析と同一のものを設定

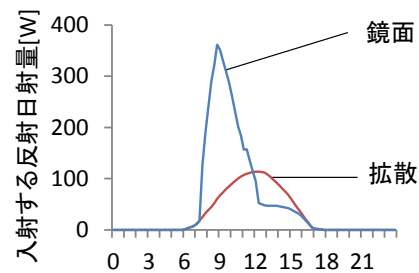
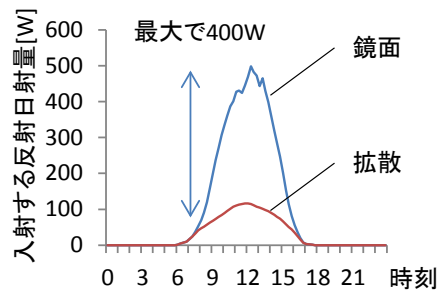
*蓄熱部位からの反射日射の入射経路を目的とするため、蓄熱部位以外の日射反射率は0としている



(参考)

蓄熱部位: 日射反射率0.2としたとき

(鏡面反射と均等拡散反射を比較)

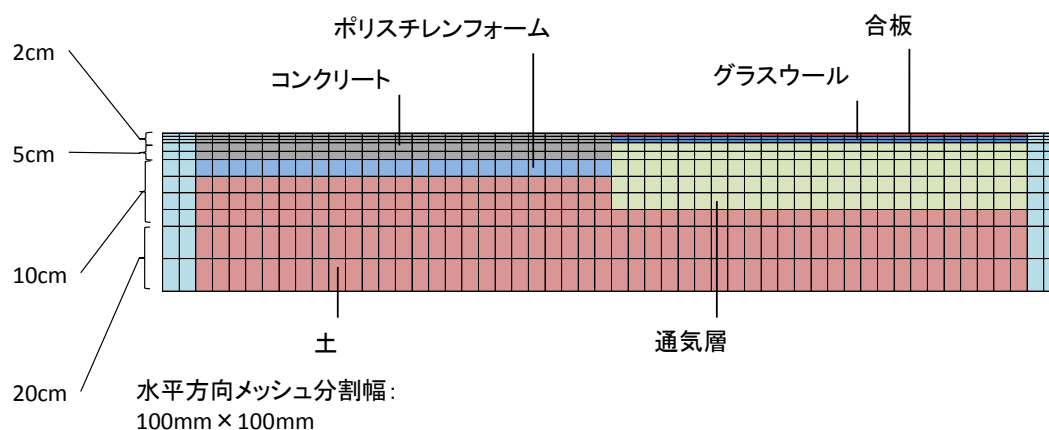


付録2: 壁, 床, 天井, 蓄熱部位の熱伝導を1次元と仮定していることの影響

1次元熱伝導解析と3次元熱伝導解析(定常計算*)の比較

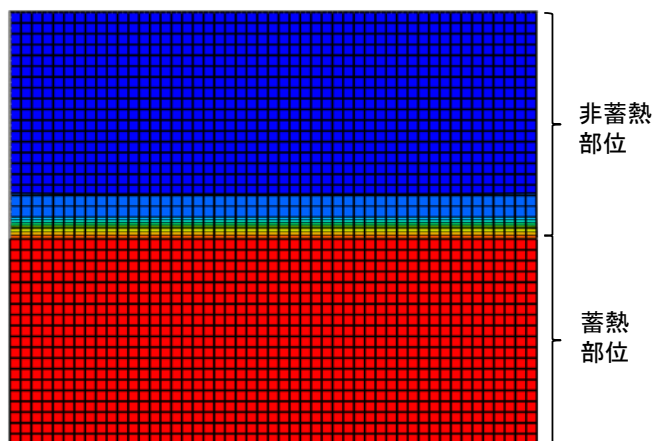
*時刻履歴の影響なし, 蓄熱部位, 非蓄熱部位間の温度差が顕著な状態と仮定できる

4章: A2-N(蓄熱部位を南半分に配置, 樹木なしを仮定)を想定した断面仕様



蓄熱部位の受熱日射量: 200W/m^2 (4章の12時の解析結果に基づき設定)
 非蓄熱部位の受熱日射量: 0W/m^2 (水平方向の熱伝導が顕著となる状況を仮定)
 室温: 25°C , 地中温度 10°C (いずれも境界条件として入力, 冬季晴天日12時を想定)

床表面温度分布(冬季晴天日12時)



面平均表面温度

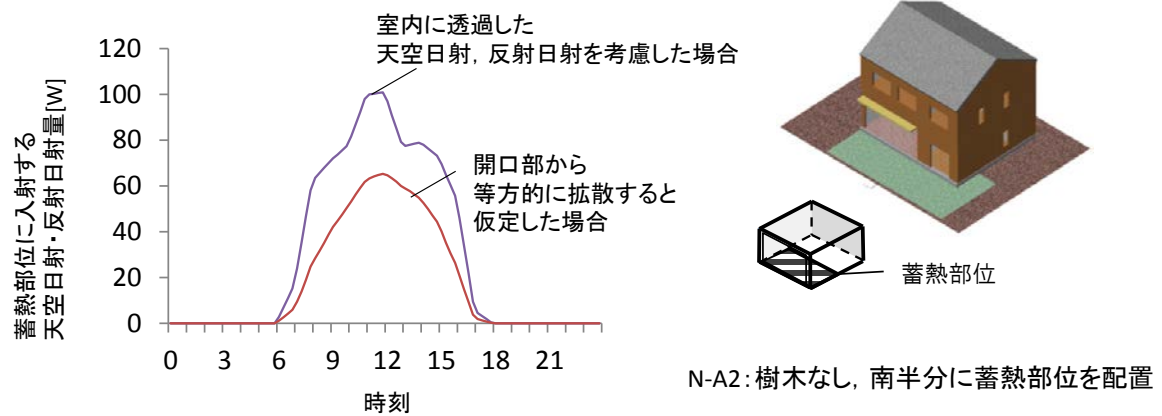
	3次元	1次元
非蓄熱部位	25.5	24.7
蓄熱部位	58.5	59.8

■ 32-33 ■ 31-32 ■ 30-31
■ 29-30 ■ 28-29 ■ 27-28

付録3:室内に透過した天空日射, 反射日射は開口部から等方的に拡散すると仮定したことの影響

蓄熱部位に入射する天空日射, 反射日射 (N-A2の場合, 地表面の日射反射率:0.2)

*気象条件, 建物条件は第4章の解析と同一のものを設定



天空日射, 反射日射量の入射量分布の展開図 (N-A2の場合, 地表面の日射反射率:0.2)

