

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

ENVIRONMENTAL DESIGN TOOL BY COMBINING OUTDOOR THERMAL ENVIRONMENT SIMULATION WITH 3D-CAD

梅干野 晃 —*1 浅輪貴史 —*2
中大窪千晶 —*3

Akira HOYANO —*1 Takashi ASAWA —*2
Kazuaki NAKAOHKUBO —*3

キーワード：
屋外熱環境, 3D-CAD, 環境設計, 表面温度, プリ・ポスト処理, 数値シミュレーション, ヒートアイランドポテンシャル (HIP)

Keywords:
Outdoor thermal environment, 3D-CAD, Environmental design, Surface temperature, Pre- and post-processing, Numerical simulation, Heat Island Potential

This study developed an environmental design tool by combining an outdoor thermal environment simulation with 3D-CAD system performed on personal computer. The outdoor thermal environment simulation applied in this development is able to predict surface temperature distribution of urban blocks taking the spatial form and materials into consideration. Pre- and Post-processing methods were developed considering actual design process. This development actualizes the input and output process using GUI function. The CAD models created by ordinary drawing process are automatically transformed into the mesh model for the calculation. Also the design parameters, inputted in the CAD model drawing process are converted to the parameters used in heat balance calculation. The output of surface temperature distribution is visually displayed onto CAD model.

1. はじめに

ヒートアイランド現象に代表される夏季の熱環境の悪化が社会問題化し、熱環境対策は行政の施策レベルでも検討されるようになってきた。これに伴い、設計段階における屋外熱環境への配慮の必要性も広く認識されつつあり、設計段階に屋外熱環境を予測すること、またそれを実現する支援ツールが求められている。

屋外熱環境の設計支援ツールとして、森川ら¹⁾は、解析の専門知識を持たない設計者の使用を想定した温熱気流解析手法の開発を行っている。また、谷本ら²⁾は、一次元キャノピーモデルをベースに、専門家から設計者を対象とした都市高温化の要因解析・予測ツールの開発を行っている。筆者らは、設計者による使用を想定する場合、近年設計の現場でも使われる機会が多くなってきた汎用の3D-CADをベースとしたツールが有効であると考え。しかし、汎用の3D-CADと連携し、設計者自身が設計と屋外熱環境予測を同時に進めていくことを想定したツールは存在していない。

以上のことから本報告では、これまで筆者らが開発してきた屋外熱環境シミュレーションツールを汎用3D-CADソフトウェアと連係させ、設計者自身が設計行為の延長上で屋外熱環境の予測を行えることを想定したツールを開発したので報告する。

2. 開発の経緯

筆者らはこれまで、都市の広域スケールにおいては、航空機リモートセンシングを用いて土地被覆と地表面温度に関する研究を進めてきた。また、実際の都市空間においては、全球熱画像収録システム³⁾の開発などを通して、建物や地面など、空間を構成する要素の表面温度が、屋外の空間形態や構成材料といった空間デザインと密接に

関連することを確認してきた。それらの結果より、熱環境に配慮した屋外空間設計を実現するには、表面温度を指標としていくことが有効であると考えている。

これらの知見を予測評価手法に展開するため、都市街区の形状を再現し、全表面温度を算出するシミュレーションツールの開発を行ってきた。はじめに、GISデータより都市街区の単純形状を再現して全表面温度の解析を行うモデル⁴⁾を開発し、その後、3D-CADにより建物の凹凸や樹木等の詳細形状を再現するモデル⁵⁾(以下、既往のツール)に拡張してきた。本研究は、この既往のツールを実際に設計者等が使用できるように検討したものであり、入力から出力までを一貫してPC上のCADソフトウェアで動作するツールを開発する。

3. 設計者の使用を想定したツールの考え方

設計者が熱環境に配慮した設計を行うことを支援するツールとして、本研究では、以下が重要な要件であると考えた。

(1) 設計者が意図したデザイン(材料や形状の違い)を再現し、その熱環境への影響を予測評価できること。

材料の違いや、樹木や庇などの詳細な空間デザインの違いにより、その空間に形成される熱環境は大きく異なる。設計者が意図する建物等の一つ一つのデザインが熱環境に影響を及ぼすことを予測できれば、設計と熱環境の評価が密接にリンクすると考える。

(2) 設計者が自身の設計行為の中で作成したCADモデルから直接解析が行えること。

設計者の利用を想定すると、解析用に新たにモデルを作成するのではなく、設計で用いるCAD図面から直接解析用のモデルを生成

*1 東京工業大学大学院総合理工学研究科 教授・工博
(〒226-8502 横浜市緑区長津田町4259-G5-2)

*2 東京工業大学大学院総合理工学研究科 助手・博士(工学)

*3 東京工業大学大学院総合理工学研究科 大学院生・修士(工学)

*1 Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*2 Assistant Prof., Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Graduate Student, Tokyo Institute of Technology, M. Eng.

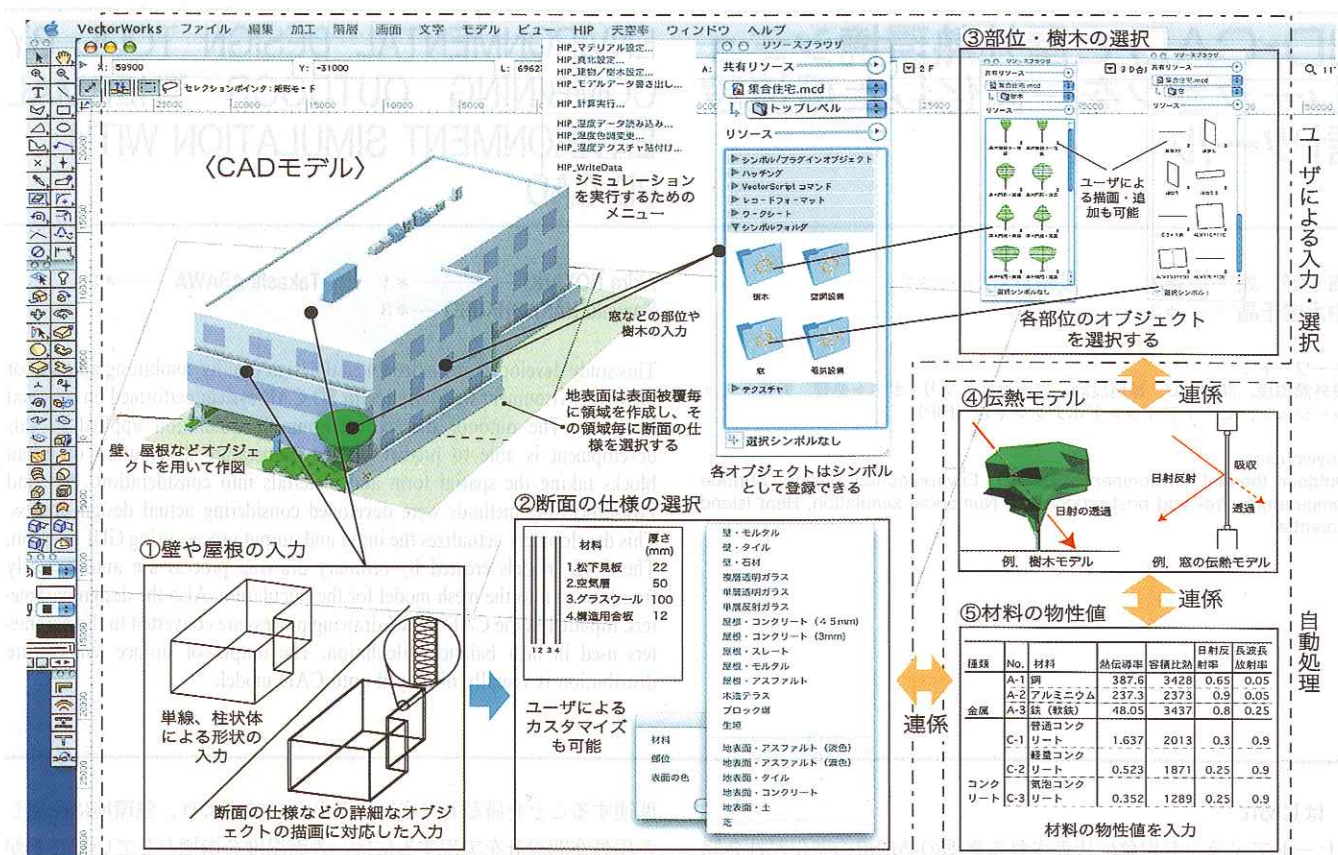


図1 CADによる描画と伝熱解析モデルの連携

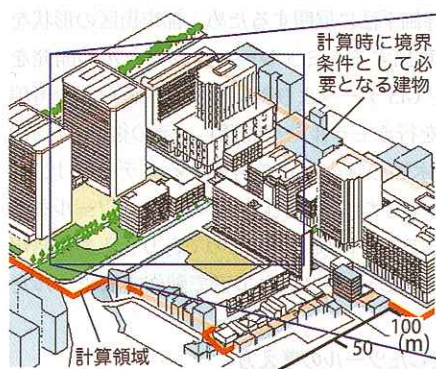


図3 実在する都市のCADモデル（俯瞰図）



図4 現状の街区のシミュレーション結果（表面温度分布、夏季晴天日16時、俯瞰図）



図5 街路空間の表面温度分布（夏季晴天日16時）

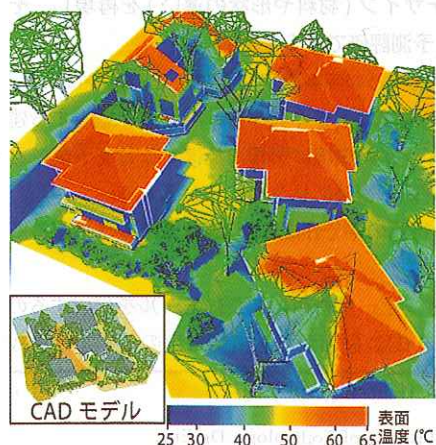


図6 緑豊かな住宅の表面温度分布（夏季晴天日、12時）

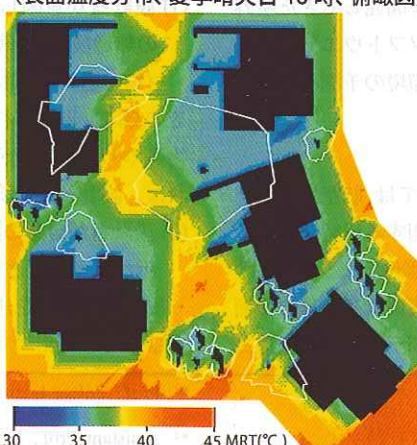


図7 地上1.5mにおけるMRT分布（夏季晴天日、12時）

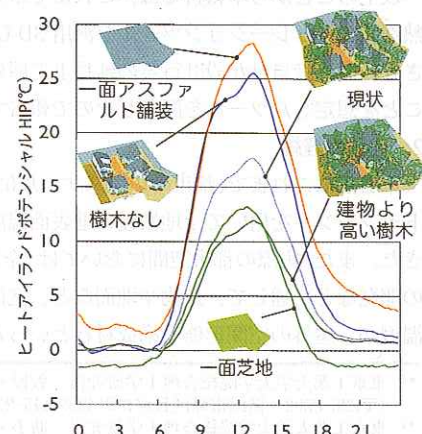


図8 HIPの時間変化（夏季晴天日）

できる必要がある。すなわち、設計パラメータと伝熱解析に用いるパラメータとが連携したシステムであることが望まれる。

(3) 設計者自身、またクライアントや市民が結果を視覚的に理解でき、設計案の評価ができること。

解析結果の視覚的な出力表現は、使用者が結果を理解して設計の良し悪しや改良点を判断するのに役立つ。また、熱環境改善に関する建築的な工夫や対策手法の効果について、クライアントなどの第三者とコミュニケーションするのに有効である。

4. 設計者の使用を想定したツールの開発

4.1 開発項目

既往のツールの特徴は次の通りである。まず 3D-CAD を用いて建物等の 3 次元的な輪郭を描くことでその形状を再現し、解析用メッシュモデルに変換する (メッシュサイズ数十 cm)。メッシュ毎に熱収支計算と断面方向への一次元伝導計算を行うことで表面温度を算出し、結果を 3D-CAD 上へ出力する。

しかし、上記 3. で挙げた要件を出来るだけ満たし、通常の設計過程で利用できるツールとするには、以下にあげる点を新たに開発する必要がある。

1. 3D-CAD による設計行為に対応した入力・プリ処理方法
2. 設計パラメータと伝熱解析のパラメータを連携させたシステム
3. 汎用の PC で動作するシステム
4. 計算時間の短縮・負荷の低減
5. 算出結果の CAD 上への効果的な出力

筆者らは、今回、以上の 5 つの点について実際に開発を行った。本報では、特にこの中から、1. 3D-CAD による設計行為に対応した入力・プリ処理方法、について報告する。

4.2 3D-CAD による設計行為に対応した入力・プリ処理方法

本ツールは 3. で挙げた要件を目標に、設計者の使用を想定したツールとするために、オブジェクト指向型の汎用 3D-CAD ソフトウェア (本研究内においては VectorWorks^{注1)} を使用) のプラグインとして開発する。このため、CAD ソフトウェアのインターフェイスを利用しながら、入力から出力までを実行する。

既往のツール⁵⁾では、解析用の CAD モデルを作成するのに、専門的な知識を持った使用者によるマニュアル作業を求めている。すなわち、3D-CAD を用いて建物の輪郭を描き建物の形状を再現し、その CAD モデルを所定の高さ毎に水平方向に切断することにより、その線分情報からメッシュ化 (自動処理) を行っていたが、各メッシュへの質点情報 (断面構成、材料、伝熱モデル等) を自動的に付加できるシステムとはなっていなかった。設計者が使用できるということは、例えば意匠的観点から作図した CAD モデルを、高度な専門知識を要せずとも伝熱解析用のモデルに変換できるということであり^{注2)}、上記のマニュアル主導のシステムを大幅に変更する必要があった。そこで、以下の点に対応したシステムを開発する。

1. 作図と同時にシミュレーションに必要な情報が整備される。
2. 詳細に描かれた図面からでも自動でメッシュ化できる。
3. 設計パラメータで入力し、解析用パラメータへは自動で変換する。
4. 上記に対応したデータベース構成の構築。
5. ダイアログなどの GUI(Graphic User Interface) を活用したインターフェイス。

図 1 に、CAD ソフトの実際のインターフェイスを用いて、入力・

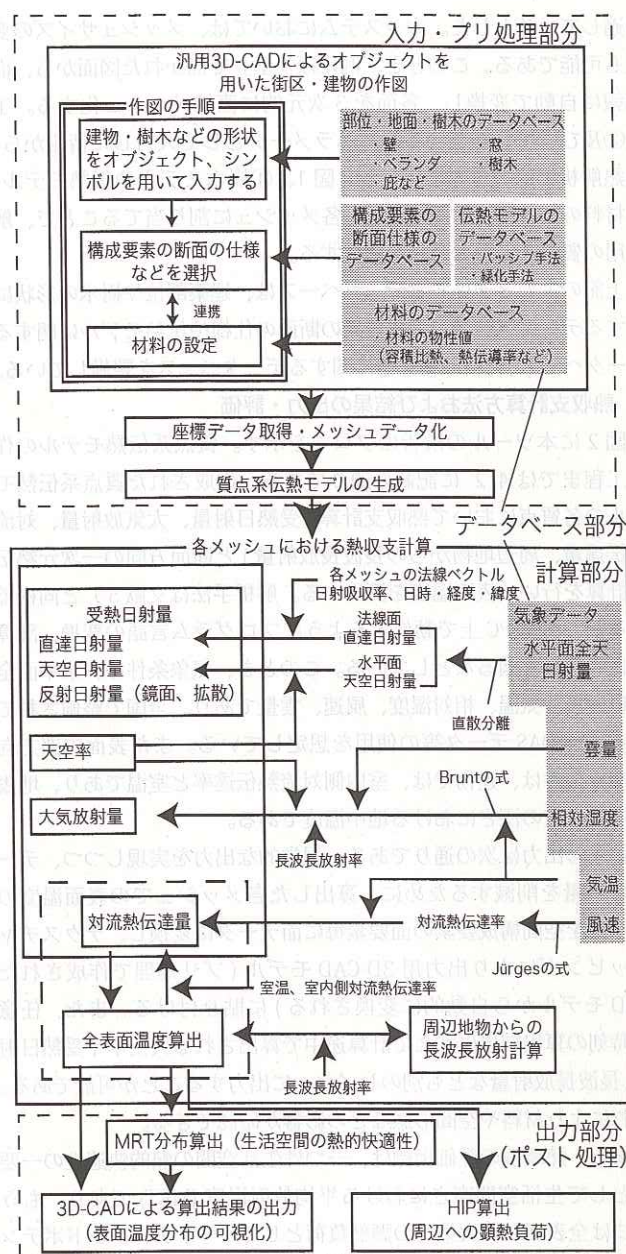


図 2 本ツールの構成

プリ処理方法の概要を示す。まず、①建物の形状を描画する。このとき、設計者による異なる描画方法を想定し、オブジェクトツールを用いた矩計図のような詳細な設計描画にも対応し、また、モデリングの自由度が高い単線 (柱状体) を用いた描画も可能としている。②形状の入力と同時にユーザはポップアップメニューから「壁」「屋根」「地面」等の構成要素の断面の仕様、材料を選択する。③窓や樹木など使用度の高いオブジェクトについては、伝熱解析に必要な質点情報をあらかじめ格納したシンボルとして登録し、選択することができる。屋上緑化等の特別な伝熱モデル化を必要とするものについては、あらかじめ伝熱モデルをオブジェクト化して用意することで、専門家以外のユーザでも選択し、使用することができる。こまでは設計に使用する設計パラメータとして位置づけられる。

つぎに、作図された CAD モデルを解析用のメッシュモデル (立方体メッシュ) に変換する。メッシュサイズについては、既往の研究⁵⁾で建物の形状の再現性と計算時間のトレードオフから、20cm

が適しているとした。本システムにおいては、メッシュサイズの変更も可能である。このとき、例えば「壁」で描かれた図面から、面情報に自動で変換し、各面を3次元的に直接メッシュ化する。工程②及び③で、いわゆる設計パラメータとして入力した情報から、伝熱解析に必要なパラメータ(図1、④樹木モデルや伝熱モデル、⑤材料の物性値)を呼び出し、各メッシュに割り当てることで、解析用の質点系伝熱モデルを構成する。

上記の入力と連係するデータベースは、建築部位や樹木の形状に関するデータベース、構成要素の断面の仕様や伝熱モデルに関するデータベース、材料の物性値に関するデータベースを整備している。

5. 熱収支計算方法および結果の出力・評価

図2に本ツールの解析のフローを示す。質点系伝熱モデルの作成工程までは4.2に記載の通りである。作成された質点系伝熱モデルの各質点において熱収支計算(受熱日射量、大気放射量、対流熱伝達量、周辺地物からの長波長放射量)と断面方向の一次元熱伝導計算を行い、表面温度を算出する。解析手法は文献5)と同様であるが、汎用PC上で動作するようにプログラム言語の変換、計算負荷の低減を図るなどしている。このとき、気象条件は、水平面全天日射量、気温、相対湿度、風速、雲量であり、全国で整備されているAMeDASデータ等の使用を想定している。また表面内部方向の境界条件は、建物では、室内側対流熱伝達率と室温であり、地表面では一定の深さにおける地中温度である。

結果の出力は次の通りである。視覚的な出力を実現しつつ、データの容量を削減するために、算出した各メッシュでの表面温度のデータを空間構成要素の面要素毎に面データに変換し、テクスチャマッピングにより出力用3D-CADモデル(プリ処理で作成されたCADモデルから自動的に変換される)に貼り付ける。また、任意の時刻の算出結果に加えて計算途中で算出される天空率や受熱日射量、長波長放射量なども別のレイヤーに出力することが可能である。これにより材料や空間形態などの影響が確認できる。

また、熱環境の評価指標は、一つは生活空間の熱的快適性の一要素として生活空間高さにおける平均放射温度(MRT)であり、もう一つは全表面から大気への顕熱負荷としてヒートアイランドポテンシャル(HIP)^{注3)}である。この2つの指標を用いることで評価対象や対象空間スケールにあわせた熱環境の評価が可能である。

6. 本ツールの適用例

本ツールは、建築設計や街区計画において使用されることを想定している。そこで街区規模への適用例として、図3に示す実在する都市街区について解析を行い、その一部の表面温度分布の算出結果を図4に示す。この街区の計算時間は、図4に示す高層建物を含む約2haの領域では、メッシュサイズ40cmでメッシュ化からCAD上への表面温度の出力まで行った場合、約16時間であった(Macintosh Power Mac G4 1.25Hz メモリー1Gbyteを使用)。なお、街区ごとにも計算でき、低層の建物十数棟程度であれば約2時間である。3D-CAD上に面データとして比較的低容量で出力されるため、自由な視点からの出力・ウォークスルーなどにより表面温度分布が確認でき(図5)、コンクリート壁面やガラス面、アスファルト舗装面といった材料の違いによる影響や、高層建築物が周辺の街区に及ぼす影響などを確認することができる。これらは、空間形態と構成材料の影響を評価可能なことを示す結果である。

また、本ツールを住宅地の植栽計画に適用した例として、図6は、緑豊かな住宅地における表面温度分布の算出結果である。樹木の日射遮蔽により、建物や地表面の表面温度の高温化が抑制されている様子を確認できる。生活空間高さである地上1.5mにおけるMRT分布(図7)をみると、敷地中央の高木樹木の下では、MRTが気温相当に維持され、良好な熱放射場が形成されていることがわかる。さらに図8に、樹木の量と配置を大幅に変更した場合について、HIPを時系列で算出した結果を示す。これより、建物よりも樹高が高い樹木の量と配置により、大気への顕熱負荷であるHIPが大幅に変化することがわかり、熱環境に配慮した植栽計画への適用も可能なことが示される。

7. まとめ

汎用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の開発を行った。設計者が従来のCADによる設計の延長上で使用できるよう、汎用3D-CADソフトウェアのインターフェイスを利用し、設計パラメータと伝熱解析のパラメータが連係する入力・プリ処理方法を開発した。

今後は、ツールの実用化に供するため、各種データベースの整備を行うとともに、ヘルプ機能の充実を図る。さらに、設計者による使われ方として、実際に設計者がこのツールを用いてどのように設計を進めていくのかを調査し、開発にもフィードバックさせていく予定である。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金、平成14、15年度基盤研究B(2)(代表:梅干野晃 No.14350313)の助成を受けた。また、NEDOの「平成15年度大学発事業創出実用化研究開発事業」の助成を受け、東京工業大学TLOの支援のもとエーアンドエー株式会社との共同研究で開発したものである。共同研究者であるエーアンドエー社の大河内勝司氏に深く感謝する。また、本研究は、過去当研究室で行われていた研究成果をもとに実用化を目指した開発研究である。主に研究に携わった、飯野秋成氏、山村真司氏、富樫雅和氏(当時東京工業大学大学院生)に深く感謝する。

注記

注1) Vector Worksは、エーアンドエー株式会社が開発・販売しているCADソフトウェアである。

注2) 本ツールは、例えばCFDのように極めて専門的な知識を要する入力や条件設定を行うのではなく、設計者が従来の設計行為の延長上として断面の仕様や材料の選択を行うことで解析用伝熱モデルへ自動変換できるツールとして開発している。しかし、その算出結果を正しく評価するには、設計者が伝熱等に関する最低限の知識を持ち合わせていることが必要である。

注3) HIPは、開発などの対象となる敷地や街区が周囲に及ぼす環境影響の指標として、筆者らが提案したもので、建物や地面など全ての表面から発生する顕熱量の敷地または街区面積に対する割合として定義される。

引用文献

- 1) 森川ら：流体解析におけるrapid-prototypeシステムの開発，大成建設技術研究所報 第28号，1995年
- 2) 谷本ら：建築熱システム及び都市気候連成シミュレーションのコンピュータソフトウェア AUSSSM Toolの開発，日本建築学会技術報告集 第17号，p265-268，2003.6
- 3) 浅野，梅干野，山田，松永：建築外部空間における熱環境解析のための3次元熱画像の作成方法，日本建築学会計画系論文集 第508号，pp35-41，1998.6
- 4) Akinaru IINO and Akira HOYANO：Development of a method to predict the heat island potential using remote sensing and GIS data，Energy and Buildings 23，p199-205，1996
- 5) 山村，梅干野，浅輪：建築外部空間デザインの設計支援を目的とした熱放射環境の予測方法の開発，日本建築学会計画系論文集 554号，p85～92，2002.4

[2004年4月20日原稿受理 2004年7月29日採用決定]