

S-3 脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案手法の確立に関する総合研究プロジェクト

3. 都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減策導入効果の評価

(9) さまざまな主体の知識共有のための統合ツール開発

東京大学

総括プロジェクト機構領域創成・学術統合化プロジェクト研究部門

スティーヴエン クレイネス

<研究協力者>

日本工業大学

工学部システム工学科

石田 武志

国立環境研究所

地球環境研究センター

芦名 秀一

東京大学・総括プロジェクト機構

領域創成・学術統合化プロジェクト研究部門 Weisen Guo

三洋メトロジクス株式会社

中村 豊

平成16～20年度合計予算額 10,328千円

(うち、平成20年度予算額 1,651千円)

※ 上記の合計予算額には、間接経費 2,384千円を含む

[要旨] 地球温暖化対策技術の評価に際しては、日本全国の様々な特性をもつ都市に対する中長期的なCO₂排出に対する導入効果を網羅的に評価することは、極めて複雑な問題である。その中、温暖化対策を評価するためには、極めて幅広い分野の専門家が参加していることが特徴である。しかし、この幅広い専門性を協調的に機能させることは決して容易ではない。そこで、本研究では、それぞれの研究者間に遍在する知識をインターネット経由で知識協調を行うため、プロジェクトの目標達成を支援する「ウェブ・ベース協調基盤」の設計と構築を行ったものである。

この「ウェブ・ベース協調基盤」構築に関して、平成16年度は、「CO₂テックテーブル」と呼ばれる研究者間の知識共有のためのウェブ・ツールを構築した。平成17年度は、DOEを用いて、数値計算モデルをウェブ上で外部から操作できるインタフェース作成を行い、電源構成モデルと電力需要を削減するための住宅・建物省エネルギー対策モデルの統合を行った。平成18年度は、その統合モデルを用いて、国内の地域別の計算を行い、国内CO₂排出量を計算することができることを示した。平成19年度は、数値計算モデルや専門知識のインターネット上におけるさらに有効な共有を実現するため、「脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの知識表現言語」としてのオントロジーを開発し、ウェブ・ベース専門知識の共有基盤であるEKOSS (Expert Knowledge Ontology-based Semantic Search) の機能拡張と応用を行った。平成20年度は、EKOSSを用いて、「低炭素社会に向けた12の方策」の都市対策に関連するシナリオと、都市対策サブグループのメ

ンバーが書いた脱温暖化社会の達成に関連する学術論文の研究内容を表現する「semantic statement」を作成し、それに基づく意味論的な統合化を検討した。

[キーワード] 二酸化炭素、技術評価、知識の統合化、知識の共有、ウェブ技術

1. はじめに

近年、CO₂排出の増加に伴う地球温暖化が顕著になり、CO₂排出の効果的な制御方法が広く研究されてきている。この国際的な動きの中で、CO₂排出と大きな関係がある電源構成や、様々な都市生活の消費活動を最適化することができれば、都市におけるCO₂排出抑制の一手段となりうる。しかし温暖化対策を評価するためには、極めて幅広い分野の専門家が参加しており、この幅広い専門性を協調的に機能させ、最適な施策を導出することは極めて難しい問題である。

一方で、近年のインターネットの普及や情報技術の発展により、様々な情報・知識を簡易に共有していく技術基盤を作ることが可能となりつつある。温暖化研究に参加する広い分野の専門家の計算モデルやデータベースなどの知識リソースを共有する技術基盤を構築することができれば、中長期の最適な温暖化施策を精度よく導出できると考えられる。例えば、内外の研究者により構築されている数値計算モデルを、インターネットを介してウェブにより外部から操作できるようにすれば、都市をはじめに、日本国内の活動に伴うCO₂排出の削減対策の総合的な効果を素早く評価したり、最適の解を検討したりするための有効な手段になると考えられる。

本研究は、コンピュータを用いて、脱温暖化社会など地球持続の目標を満たすために設計したシナリオの枠組みと個々の技術や政策に関連する個別研究の成果を知的にマッチし、統合化するツールや手法の開発と応用を目標とした。具体的に、プロジェクト内外の専門知識を共有・探索・統合する場としての「ウェブ・ベース協調基盤」を開発してきた。基盤の基礎は、ダイナミックウェブページの技術 (php + sql) を用いて構築したウェブサイトである。その上、DOMEというウェブ上の数値計算モデル統合化環境を用いて、脱温暖化社会を実現するシナリオを検討する統合モデル基盤を構築した。そして、意味的なマッチングと統合化を実現するため、コンピュータ処理可能な意味記述手法、理論的推論、オントロジー、ウェブ・サービス、計算可能なウェブ、エージェント・ベースのサービスマッチングなど、幅広い情報技術を用いて、脱温暖化社会に関連する専門知識の共有・探索・統合基盤を開発してきた。

2. 研究目的

本研究では、都市対策サブグループのメンバーをはじめに、それぞれの研究者間に遍在する知識を、インターネットの利用により、知識協調を行い、プロジェクトの目標達成を支援する「ウェブ・ベース協調基盤」の設計とデモンストレーション・プロトタイプの構築を研究目的としている。具体的に、「ウェブ・ベース協調基盤」の基礎となるウェブサイトを設計し、ダイナミックウェブページで様々な知識共有機能を整備する。次に、DOMEのモデル統合環境を用いて、電源構成モデルと電力需要を削減するための住宅・建物省エネルギー対策モデルをはじめとする当該プロジェクト内において開発された複数の数値計算モデルを連動させるための統合モデルを構築する。この統合モデルにより、首都圏や国内のCO₂排出量を評価できることを示す。さらに、もっと幅広い地球温暖化を緩和するための技術（新エネルギー技術・バイオマス利用・エネルギー利

用の高効率化など) や政策オプションを研究する研究者の研究内容や作成した数値計算モデル、データベースなどをコンピュータが意味的に処理可能な形で表現し、インターネット上に共有する。そして、コンピュータに基づく情報処理技術により、コンテンツの解析、やセマンティックマッチングなどの統合化を行っている。

3. 研究方法

課題1：脱温暖化社会の達成に関連する専門知識の共有と統合化のためのウェブ・ベース協調基盤の構築：CO₂ Tech Table とモデル・インタフェース

本研究プロジェクトでは、極めて幅広い分野の専門家が参加していることが特徴であり、その幅広い観点をプロジェクトの目標に対して有効に適用することがプロジェクトの本質であろう。しかし、この幅広い専門性を協調的に活躍させることは極めて難しい。そこで、どの研究部門でも遍在するウェブの利用により、プロジェクトの目標達成を支援する「ウェブ・ベース協調基盤」の設計と構築を行った。

具体的に、都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減技術や政策の評価のための協調基盤として、都市活動に伴う二酸化炭素排出量の削減のための技術特徴をインターアクティブに操作できるテーブル「CO₂ Tech Table」を整備した。「CO₂ Tech Table」の主な機能は：

1. 公開サイトとプロジェクト内サイトを分け、プロジェクト・メンバーのページへのパスワード制限アクセスの機能
2. ログイン済みのプロジェクト・メンバーは、個人情報や発表論文リストを自ら修正でき、電子ファイルの形にある資料をアップロードできる機能
3. プロジェクト・メンバー毎に以下の機能をもつ「CO₂テックテーブル」
 - (ア) プロジェクト・メンバー毎の「CO₂排出を起こす都市活動」の分類テーブル
 - (イ) プロジェクト・メンバー毎の「CO₂排出を削減する技術や政策」の分類テーブル
 - (ウ) 各々の対策効果を評価するために「必要なモデルやデータ」の分類テーブル

課題2：都市対策グループにおいて作成した数値計算モデルをDOMEによる統合化

都市対策グループのモデル・データベース統合基盤構築のためのサブグループにおいて、都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減技術や政策の評価のためのウェブ・ベース協調基盤に内外の研究者により構築されている数値計算モデルを捜査できるインタフェースを整備した。具体的に、DOME (distributed object-based modeling environment)のモデル統合基盤を用いて、MS ExcelやMathworks Matlabなどのソフトウェアを用いて構築された数値計算モデルを、ウェブ・ベース基盤を通じてアクセスできる環境を構築した。DOMEは、マサチューセッツ工科大学のCAD研究室において開発されているモデル統合基盤であり、MS ExcelやMathworks Matlabなどの各種ソフトウェアを用いて構築されたモデルや、Javaにより記述されたモデルに対して、各モデル間のパラメータをリンクさせ、モデルを連動させることができるツールである。

さらに、当該プロジェクト内において開発された複数のモデルを連動させるための統合モデルを中心に、電源構成モデルと電力需要を削減するための住宅・建物省エネルギー対策モデルを図1に示すように統合した。モデルを連動させて評価を行ういくつかのDOME機能も実現した。そして、作成した統合モデルを用いて、国内の地域別の計算を行い、国内CO₂排出量を計算することができることを示した。

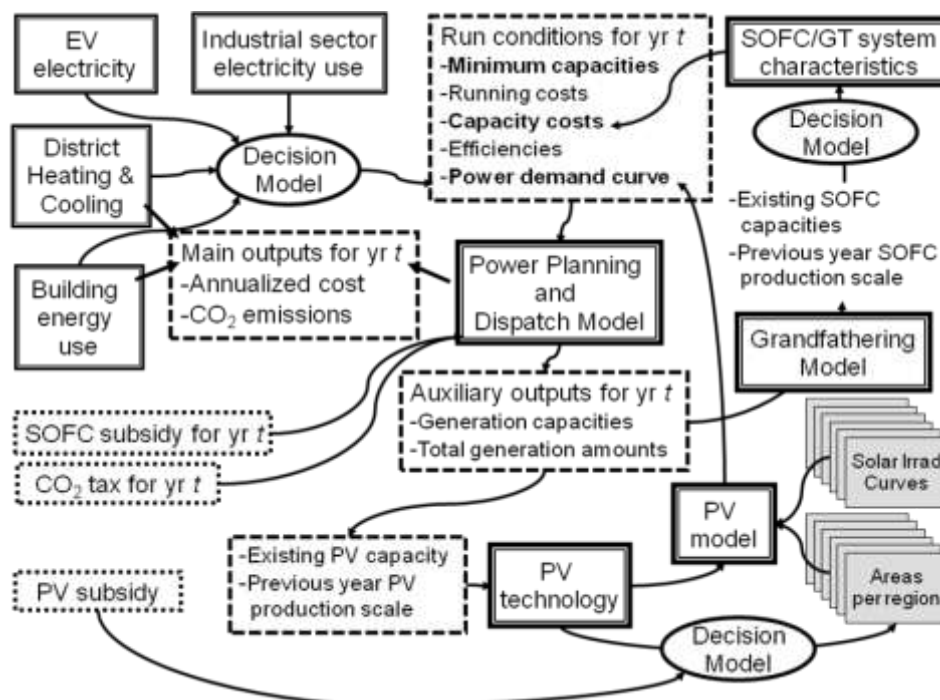


図1：都市の需要を満たす発電に伴うCO₂排出削減のための複数技術・政策オプションのフィードバック（正と負）を検討するための、数値計算モデルのシステム図

課題3：脱温暖化社会の達成に関連するシナリオと技術を表現する知識表現言語の開発と応用

さらに幅広い地球温暖化を緩和するための技術（新エネルギー技術・バイオマス利用・エネルギー利用の高効率化など）や政策オプションを研究する研究者の研究内容や作成した数値計算モデル、データベースなどを統合化するため、コンピュータが意味的に処理可能な形でそのリソースを表現し、インターネット上に共有する基盤を開発した。まずは、「脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの知識表現言語」としてのオントロジーを完成した。そして、EKOSS (Expert Knowledge Ontology-based Semantic Search) という専門知識共有のウェブ基盤を用いて、シナリオチームが作成した低炭素社会に向けた12の方策のうち、6つの方策を意味的に表現する「Semantic Statement」（コンピュータが意味論的に処理できる記述）をオントロジーに基づいて作成した。さらに、シナリオチームとの共同研究で、エネルギー使用に伴うCO₂排出の概略シナリオを開発し、そのシナリオを定義する「Semantic Statement」を構築した。次に、都市対策サブグループのメンバーの「脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプション」に関連する学術論文が表現する知識を抽出し、その抽出した知識に基づいて「Semantic Statement」を作成した。最後に、これらの「Semantic Statement」を平成19年度において作成した東京大学のエネルギー関連の研究者の知識記述と一緒に解析し、脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションのシナリオと対策技術の統合を行った。

脱温暖化社会達成のためのシナリオと個々の技術や政策に関連する個別研究をマッチさせる基本的なコンセプトを図2にまとめる。ステップは8つである。まずは、現状を表す解決したい問題を特定する。例として、石炭火力など既存の発電所からの高いCO₂排出量が挙げられる。次に、シナリオ最終年の目標状況を特定する。例えば、2050年までに、発電関連のCO₂排出量を半減化する。そして、特定した問題から目標をリンクする概略のシナリオを作成する。この概略のシナリオには、問題から目標へ導く経路をなるべく多く定義する。上記の例を考えると、電関連のCO₂排出量を半減化するには、例えば太陽電池の発電容量を増やしたり、石炭火力の発電効率を上げたり、電力需要を減らしたり、CCSを導入したりする様々な方法がある。

次に、シナリオ目標を達成する様々の経路の各リンクを個別研究とマッチする。例えば、大量の太陽電池を導入するため、低価格の生産プロセスや資源の確保が必要不可欠である。そこで、新たな製造プロセスや資源量の見積もりについての研究成果が報告してあれば、それをシナリオ全体の枠組みの適切なリンクにマッチさせる。このように、シナリオを具体化し得るすべての研究候補を網羅的にシナリオの枠組みに構造化した後、最適と思われる技術などのオプションを選択し、具体化したシナリオを構築する。DOMEの計算モデル統合化

環境などを利用し、具体化したシナリオを評価する。その評価に基づいて、技術や政策オプションを変更したり、概略のシナリオを拡大したりし、再び技術の選定や具体化したシナリオの評価を行う。評価の条件が満たされたら、最終シナリオを確定する。

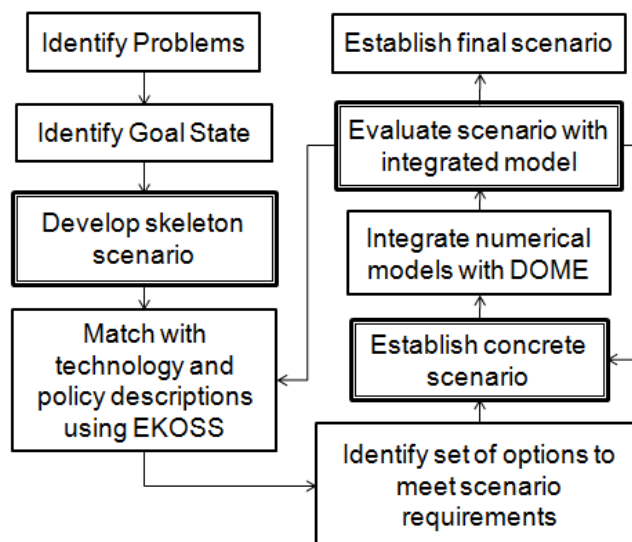


図2 EKOSSを適応した脱温暖化社会のシナリオ設計と評価手法

具体的な研究方法は下記の通りで行った。

- (1) SCINTENGオントロジーの拡張：既往の研究において開発したSCINTENGオントロジーを、脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションのシナリオを定義できるように拡張した
- (2) 脱温暖化社会のシナリオの「Semantic Statement」の作成：EKOSSを用いて、低炭素社会に向けた12の方策の関連するシナリオと統合エネルギー・シナリオを定義するsemantic statementsを作成した
- (3) 都市対策サブグループのメンバーの研究を表現する「Semantic Statement」を作成した
- (4) 作成した「Semantic Statement」に基づく意味論的な統合化を検討した

4. 結果・考察

課題1：脱温暖化社会の達成に関連する専門知識の共有と統合化のためのウェブ・ベース協調基盤の構築：CO₂ Tech Table とモデル・インタフェース

「ウェブ・ベース協調基盤」の基本的なアプリケーションとして、平成16年度には、都市に対する中長期的な二酸化炭素排出削減技術や政策の評価のための協調基盤に都市活動に伴う二酸化炭素排出量の削減のための技術特徴をインターアクティブに操作できるテーブル「CO₂ Tech Table」を整備した。「CO₂ Tech Table」は3つのパーツから構成される(図3)。左側に、CO₂の主な排出源と考える都市活動項目を階層構造に示す。この都市活動の階層構造が都市地域のCO₂の総排出量を緩和する対策構成の焦点になる。真中に、都市活動のCO₂排出量削減対策を計画し評価するためのプロジェクト。メンバーが持っている、または必要と思っているデータセットや計算ツールを登録する。そして、右側に、都市活動に伴うCO₂の排出量を制御するプロジェクト・メンバーが登録した技術や政策などの項目を示す。協調基盤には、都市対策サブグループが検討している5つの代表的な都市(「東京」、「札幌」、「那覇」、「鹿児島」、と「宇都宮」)において、別々な「CO₂ Tech Table」が用意されている。

「CO₂ Tech Table」の登録済み例を図3に示す。プロジェクト・メンバーであるSteven Krainesがいくつかの都市活動を登録した。図に表示されている都市活動が「electricity」というカテゴリに分類されている様々な電気製品の利用による電力需要や工業製造プロセスと様々な照明用途の電力消費である。真中の列には、Steven Krainesは、一般的な都市地域における電力消費に伴う二酸化炭素の排出量の削減に関する検討を行うため、「central power grid electricity demand」(系統電力システムの需要)に関連するデータが必要であると指摘した。更に、それぞれの電力需要の種類に対して、ライフスタイルのパラメータや建物の伸び床面積などのデータの必要性が示されている。そして、右側の列に、それぞれの電力需要の種類の二酸化炭素排出の削減を実現するために、Steven Krainesが有効だと考える技術や政策オプションが表示されている。

urban needs / activities	Contribution to CO2 emissions	path/model/condition/requirements	technology/policy options to consider
electricity	25%	central power grid electricity demand	centralized electric power systems decentralized electric power systems high efficiency appliances
electric appliances	10%		
commercial appliances	4%		
office building appliances	3%		
residential appliances	3%	lifestyle	
industrial/manufacturing	5%	manufacturing infrastructure	manufacturing process improvement
lighting	10%	building floor area solar irradiation	daylight savings high efficiency lighting
commercial lighting (l)	4%		passive lighting
office building lighting	3%		passive lighting
outside lighting	2%		
residential lighting	2%	lifestyle	passive lighting
heating and cooling of buildings	5%	building floor area	conservation

図3：都市対策サブグループが検討している5つの代表的な都市毎、主な都市活動に登録した技術や政策オプションとデータセットや計算ツールを示す「CO₂ Tech Table」の基礎的なテーブル

「Region View」のテーブルは、各都市に関連する共有データや地図、グラフを表示する(図4)。

Home | My Model | MS&E Database | TRF Profiles | Current Region | CO₂ Tech Table | Message Board

Region: Region: View:

Keio, Iriko, Utsunomiya, Fukushima
Simple Information View

Region characteristics

Total Area	312,000,000 square meters	Altitude	- meters
Total area covered by building	33,400 square meters	Principal mode of transport	
Latitude	37.45 degrees north	Total solar hours	1,330 hours/year
Longitude	140.12 degrees east	Current Population	443,000

Time Series Data

Data Item	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030
Total Population	443,000	452,018	457,238	458,576	456,103	449,549	440,149
Population Under Age 15	67,200			63,200			58,000
Population Over Age 65	143,377			146,688			150,137
Energy Use (GJ/yr)							
Electric Use (GJ/yr)							

Principal forms of power generation

Power type	CO ₂ emissions (ton/yr)	Number of plants	Total capacity (MW)
NCC	0	0	0
Nuclear	0	0	0
Oil	0	0	0

CO₂ emissions coefficient: _____ t/g kWh

Principal industries

Industry type	CO ₂ emissions	# of plants	Total output (ann/yr)
Industry	0%	0	0
Residential	0%	0	0
Commercial	0%	0	0
Transport	0%	0	0
Other	0%	0	0

Transport Modes

Mode	Percentage
Automobile	57.0%
Motorcycle	15%
Walk	17.0%
Rail	2.0%
Bus	2.0%
Linear	0%

Scenario parameter: Total CO₂ V

Principal building types

Building type	total floor area (square meters)			total land area (square meters)		
	2000	2010	2030	2000	2010	2030
apartment building	0	0	0	0	0	0
Residential stores	0	0	0	0	0	0
Hotels	0	0	0	0	0	0
office building	0	0	0	0	0	0
restaurants	0	0	0	0	0	0
warehouses	0	0	0	0	0	0

Monthly Average Data

Data Item	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec
High Temperature (C/1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Low Temperature (C/1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avg. Temperature (C/1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avg. Precipitation (mm/1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avg. Humidity (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Avg. Wind Speed (m/s)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar hours (hr/1)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Databases available

Database name	Database type	Owner	Year	description
Tokyo GIS road network	GIS coverage	Shohei Inoue	1995	GIS coverage database of roads in central Tokyo (23 wards)
Kanto region E1 table	3D table	Shohei Inoue	1993	3D center open 3D table for the Kanto region including Tokyo
Tokyo Census data	3D Table	Shohei Inoue	1999	

図4：代表都市の一つである福島県宇都宮市の地域データを表示する「Region View」のテーブル。テーブルは人口の傾向、主な産業、交通モード、気象データなどのデータや地域の地図、グラフなどが含まれる。

以上説明した「CO₂ Tech Table」の機能に加え、現時点構築済みのウェブ・ベースの協調基盤は「書類ファイルのリポジトリ」、「掲示板」、「数値計算モデル情報のデータベース」、そして発表論文のリストなどのプロジェクト・メンバー情報を管理する機能が整備されている。

課題2：A都市対策グループにおいて作成した数値計算モデルをDOMEによる統合化

(1) ウェブ・ベース協調基盤の数値研鑽モデルのリポジトリとモデル・インタフェース

平成17年度から18年度、ウェブ・ベース協調基盤に数値研鑽モデルのリポジトリを整備した。そして、DOME (distributed object-based modeling environment)のモデル統合基盤を用いて、内外の研究者が、MS ExcelやMathworks Matlabなどのソフトウェアを用いて構築する数値計算モデルを捜査できるインタフェースを整備した。そのインタフェースの一例を図5に示す。

1) 統合モデルの概要

地球温暖化対策には需要対策と供給面の対策があり、とりわけ電力の場合には需要側対策と供給側の対策が相互に関連を持つため、その両面を同時に検討していかなければ真に対策の有効性を評価することができない。実際の都市に複数の対策が導入されたときの効果を評価するためには、それ

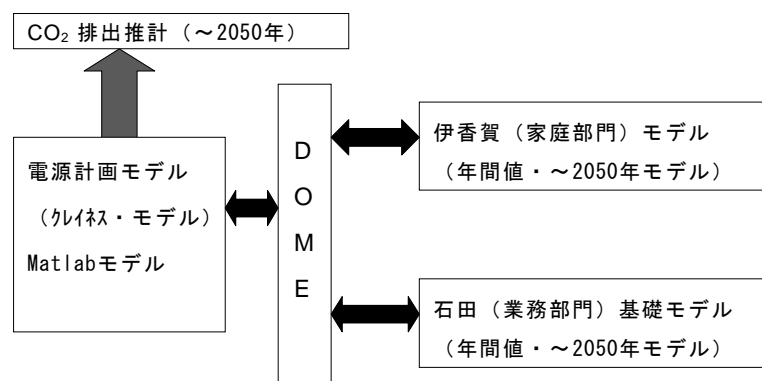


図7 電源計画モデルと需要部門（民生部門）の統合の概要

らの対策の効果を個別に推定して加算するだけでなく、これらの対策効果を同時に評価できるような解析方法の確立が必要になる。本研究では、関連する複数の対策の相互関係性を評価する方法を構築するために、平成17年度に構築された電源計画モデルに、民生部門のモデルを統合し、対策導入効果を様々な条件で評価するための解析ツールの構築を行った。

構築したシステムは、図7に示すように電源計画モデルと、家庭部門のエネルギーモデル、業務建物部門のモデルをDOMEにより結合した。

2) 住宅エネルギー・CO₂のマクロ評価モデル

伊香賀による住宅エネルギー・CO₂のマクロ評価モデルでは、都道府県、対策の種類等を入力データとして与えると、2050年までの家庭部門のエネルギー消費構成が出力される。このモデルはExcel VBAにより構築されており、内部の計算値は、年間値のみで、時刻別データは扱っていない。また5年ステップでの計算である。住宅エネルギー原単位データベースの構築には、SMASHを用いて、エネルギー需要を求めている。対策コストに関してはモデル内では考慮していない。

3) 業務エネルギー・CO₂のマクロ評価モデル

石田による業務エネルギー・CO₂のマクロ評価モデルは、建物の電力・エネルギー負荷を細分化して定式化し、建物概要、建物用途、気象データに基づく建物内部からの発熱、壁面での熱貫流や外気交換による熱損失などの算出方法を明確にし、様々な条件下でのエネルギー負荷を簡易推計する計算ブロックをモデル内に明示的に導入することを可能としたものである。このモデルは地球温暖化対策等の施策評価においても、従来は原単位などを用いたマクロ的な評価が中心であった評価に比べ、各種条件が詳細に設定できることから、各対策間の効果を相対的に評価するなど、施策決定支援の側面でも利用できるモデルである。モデルは、Excel VBAにより構築されており、内部の計算値は、年間12ヶ月の代表日の時刻別データを推計している。

4) 電源計画－需要部門の統合モデルの計算事例

住宅及び業務エネルギー・CO₂のマクロ評価モデルを、DOMEに接続し、電源計画・供給モデルと統合し、時間ステップごとの計算を行うことができる統合モデルを構築した。家庭部門では、太

太陽発電の導入量が年々増加するような設定とし、さらに電力会社の電力単価に導入量が左右されるようにした。需要部門での分散電源導入により、需要サイドの電力デマンドは減少し、電力会社側の発電構成に影響を与え、発電単価が増減し、それが需要部門の太陽光発電の導入判断に影響を与えるようなフィードバックループが構成される（図8）。

図9に、計算を実施している画面の様子を示す。需要部門における太陽光発電の導入量が大规模になってくると、電源構成に影響を与え、特に火力発電等の稼働率の低下等により電力単価が変動し、それにより需要側の分散電源の導入量が左右されるというフィードバックループが稼働している。

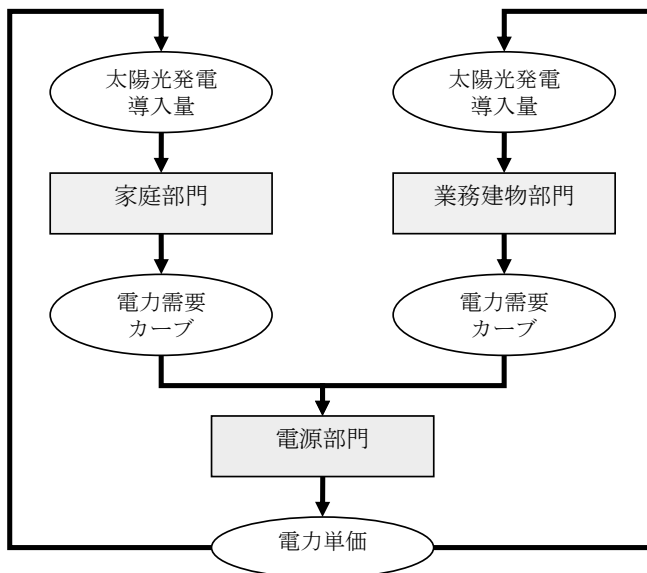


図8 需要部門モデルと電源計画モデルのフィードバックループ



図9 DOME統合機能を用いた電源計画・供給モデルと民生部門モデルとの統合の様子

5) 計算ケースの設定

各モデルにおいては、様々な対策の導入設定が可能であるが、本研究では各モデルにおける以下の対策パラメータを変化させて、モデル間の連動効果を評価した。

電源計画モデル：SOFC/GT(固体酸化燃料電池・ガスタービンの複合サイクル)の補助金、
CO₂税

業務建物モデル：太陽光発電

住宅モデル：太陽光発電

想定した計算ケースは以下の7通りである。

- ケース1－基本シナリオ：各対策の標準導入時
 ケース2－SOFC/GTシナリオ：基本シナリオ+SOFC/GT発電システムが導入された場合
 ケース3－SOFC/GT+CO₂税シナリオ：SOFC/GTシナリオ+2005年以降にCO₂税の導入した場合
 ケース4－太陽光発電一定シナリオ：基本シナリオ+需要サイドでの住宅太陽光発電導入（2010年～）
 ケース5－太陽光発電フィードバックシナリオ：
 基本シナリオ需要サイドでの住宅太陽光発電の導入（2010年～）。
 太陽光発電導入量が電源計画による電源構成に基づく電力単価に左右される場合
 ケース6－太陽光一定+SOFC/GT+CO₂税シナリオ：
 SOFC/GT +CO₂税シナリオ及び住宅太陽光発電導入（フィードバックなし）
 ケース7－太陽光（フィードバック+SOFC/GT+CO₂税シナリオ：
 SOFC/GT +CO₂税シナリオ及び住宅太陽光発電導入（フィードバックあり）

6) 計算結果

各ケースの設定に基づいて2050年までの計算を行った結果を図10に示す。太陽光発電のフィードバックを行った場合としない場合では、削減量に相違がでてくることがわかる（ケース4と5、ケース6と7の比較）。今回の計算は住宅用の太陽光発電の導入のみのフィードバックであるため、排出量全体の変化は小さいものの、他の対策によるフィードバックや対策相互効果を考慮した場合は、大きな差になる可能性も考えられる。

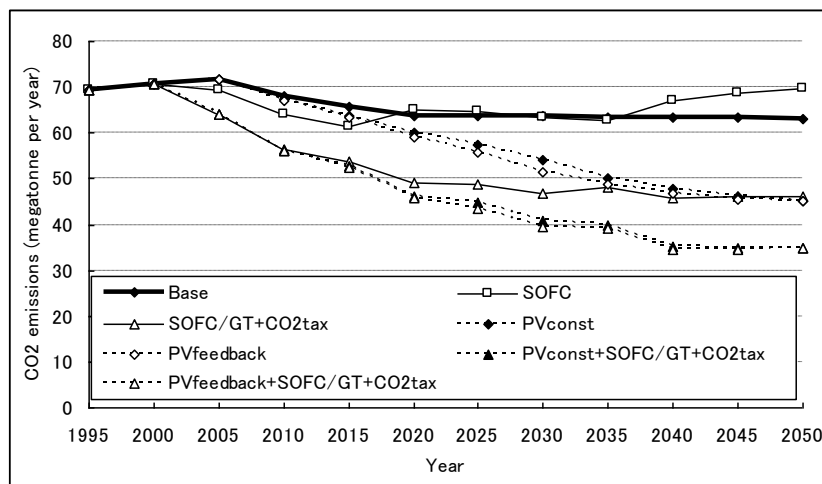


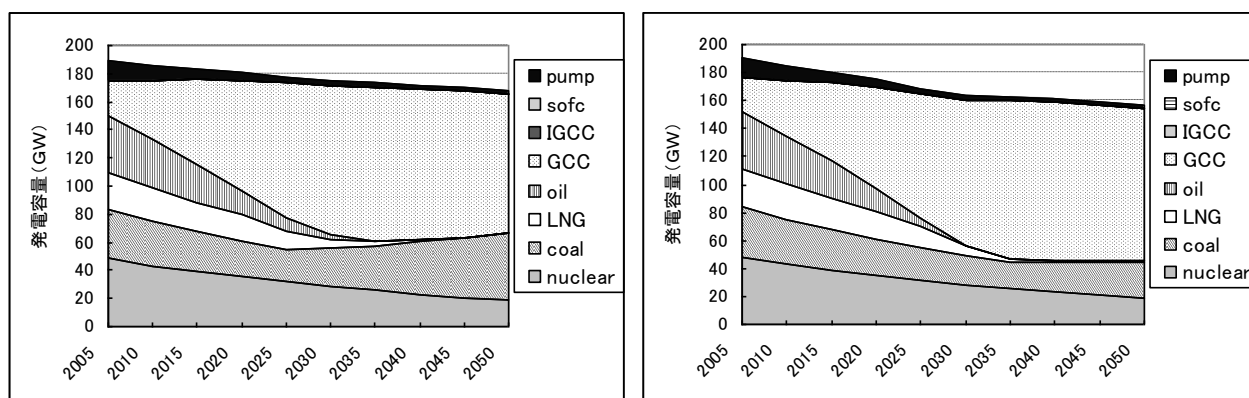
図10 各ケースのCO₂排出量計算結果

(3) 電源計画・供給モデルの拡張（9地域の計算）及び全国CO₂排出量評価

平成18年度に構築した電源計画モデルは関東地域のみであったが、それを拡張し9地域（北

海道、東北、関東、北陸、中部、関西、中国、四国、九州) 別の推計ができるように改良した。各地域の現状の電源種構成比を設定し、地域別に需要カーブ、電源種類ごとの発電容量の上限・下限の設定などを選択できるようにしている。また、需要部門の対策による電力需要の削減や、太陽光発電の導入による電力需要の増減についてのデータも外生的に与えることができるようにしている。

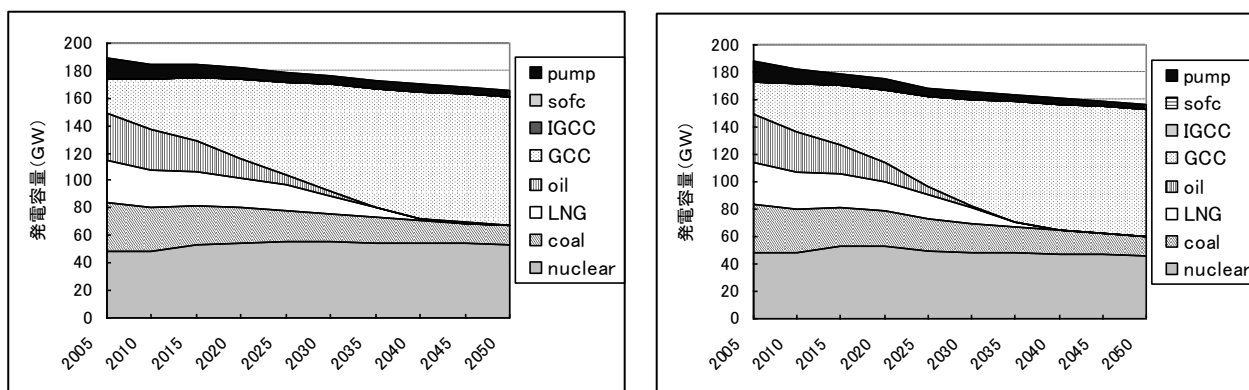
この拡張モデルを用いて、9つの地域ごとに計算を行い、それぞれの計算結果を積算することにより、国内全体の発電構成や発電量、CO₂排出量を導出した。図1-1～図1-3に発電容量の最適化結果の事例を示す。それぞれPV導入により電力需要が変動する場合としない場合について、さらに炭素税の導入有無による相違を示している。同様に図1-4にCO₂排出量の推計結果を示す。



(a) PVによる需要変動なし

(b) PVによる需要変動あり

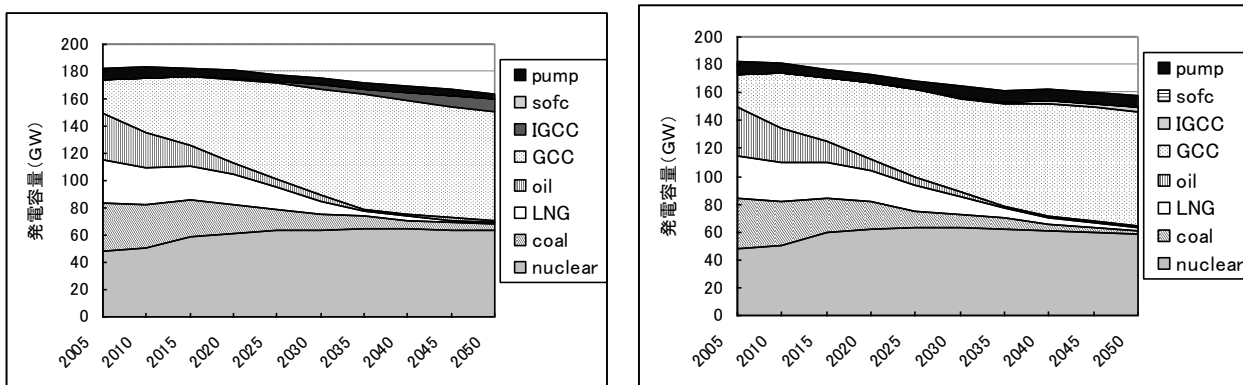
図1-1 全国の発電容量の最適化結果 (炭素税なしの場合)



(a) PVによる需要変動なし

(b) PVによる需要変動あり

図1-2 全国の発電容量の最適化結果 (炭素税 10万円/t-CO₂) の場合)



(a) PVによる需要変動なし (b) PVによる需要変動あり

図 1.3 全国の発電容量の最適化結果 (炭素税 50万円/t-CO₂) の場合)

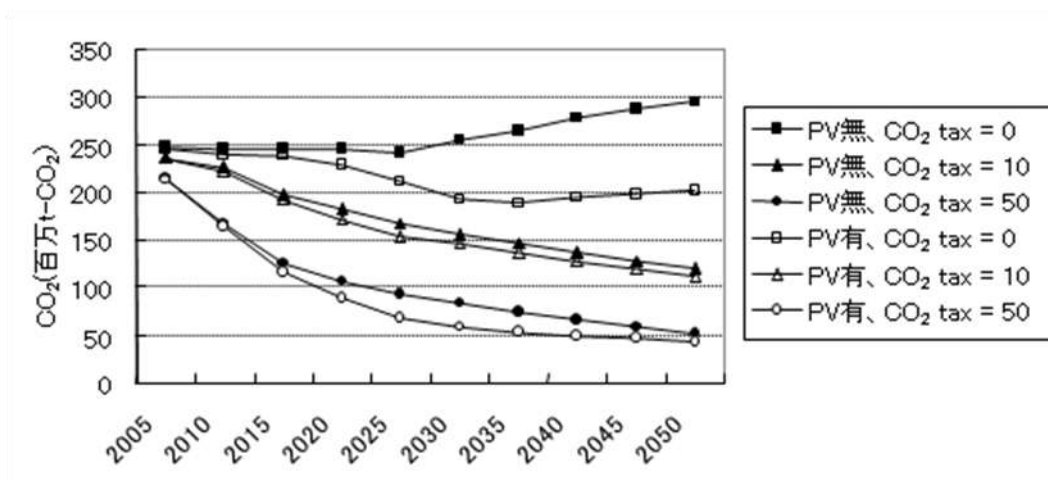


図 1.4 全国の電源起源CO₂排出量推計結果

以上のようにDOMEを基礎として、様々なモデルの統合や時系列計算が可能となった。

(4) 9地域の計算へ拡張した電源計画・供給モデルと民生部門モデルとの統合解析及び全国CO₂排出量評価

上記(2)に示した電源計画モデルと民生需要部門モデルの統合解析についても、9地域別に推計できるように改良を行った。また、シナリオ検討チームの結果に基づいて世帯数、業務床面積等を設定できるようにした。モデルの統合の概要を図1.5に示す。

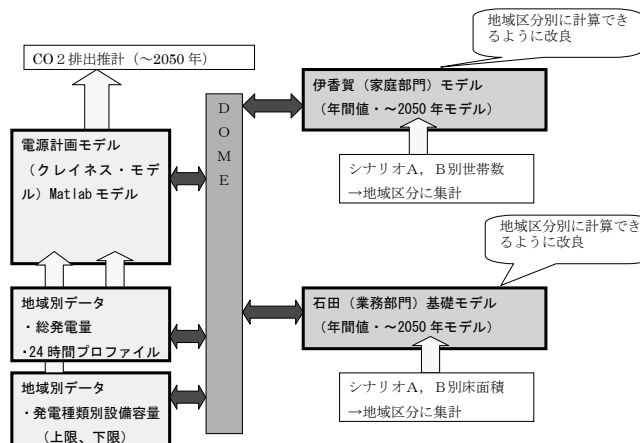


図 1.5 電源計画モデルと需要部門 (民生部門) の統合の概要

1) 電源計画モデル

(3) で説明したように、電源計画モデルを拡張し9地域（北海道、東北、関東、北陸、中部、関西、中国、四国、九州）別の推計ができるように改良した。各地域の現状の電源種構成比を設定し、地域別に需要カーブ、電源種類ごとの発電容量の上限・下限の設定などを選択できるようにしている。また、需要部門の対策による電力需要の削減や、太陽光発電の導入による電力需要の増減についてのデータも外生的に与えることができるようにしている。このモデルでDOME側から制御しているパラメータは以下のとおりである。

2) 家庭部門モデル（伊香賀モデル）

(2) で示した伊香賀らによる家庭モデルを9地域別に計算できるように変更をおこなった。さらに9地域別の世帯数を集計し、入力データとして設定した。世帯数は、シナリオチームから与えられたシナリオA、シナリオBの都道府県別データを集計したものである。また、太陽光発電の導入率については、高橋らの推計結果が電源計画モデルの入力条件として既に設定されているため0%に設定している。その他対策として、以下の対策を考慮し、対策による需要電力減を、DOMEを介して電源計画モデルに渡す構造となっている。

・家庭部門モデル設定している対策

空調運転適正化、空調設備更新、断熱強化、太陽熱温水器、太陽光発電、給湯温度の適正化、給湯利用の適正化、家電使用の適正化など

3) 業務部門モデル（石田モデル）

(2) で示した業務モデルの建物数を9地域別に分割して設定した。分割比率は、過去の建築着工数の累積数による。また、業務の将来増加については、シナリオチームによる床面積推計値の2000年値と2050年値から年増加率を算定して用いた。

また、太陽光発電の導入率については、高橋らの推計結果が電源計画モデルの入力条件として既に設定されているため、業務モデル内では太陽光発電の導入率を0%に設定している。その他以下の対策を考慮し、対策による需要電力減を、DOMEを介して電源計画モデルに渡す。

4) 計算結果

1) - 3) の条件を設定して、各地域の計算を行い、地域別電力を合計することにより、全国のCO₂排出量、電源構成を算出した。

(計算条件)

- ・シナリオA及びBによる世帯数、床面積増加率を用いた場合
- ・PVによる需要の減少を考慮しない場合及び考慮する場合
- ・住居、業務部門対策は2)、3)の対策の設定の場合

各地域の計算をした結果を合計したCO₂排出量と電源構成を図16に示す。それぞれのケースの電源構成の推移を図17～図20に示す。

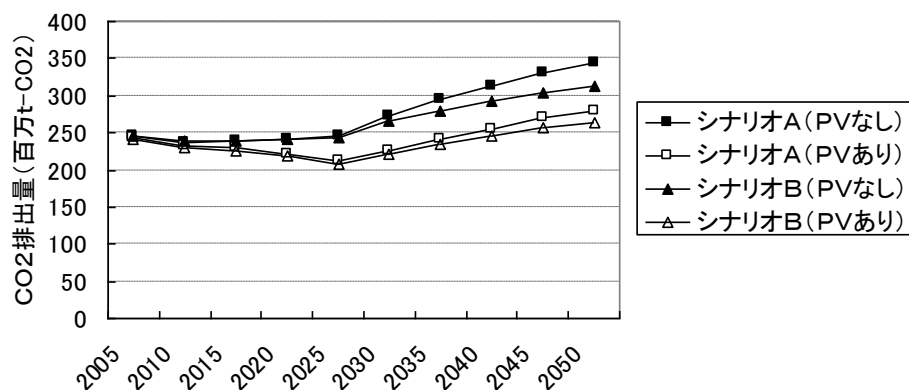


図 1 6
全国（沖縄除く）
のCO₂排出量推計
結果

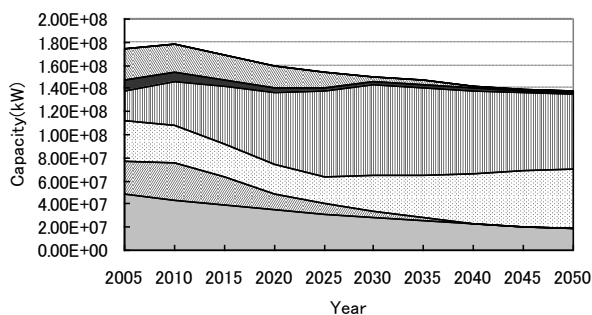


図 1 7 電源構成比（全国（沖縄除く）、
シナリオA+PV導入なし）

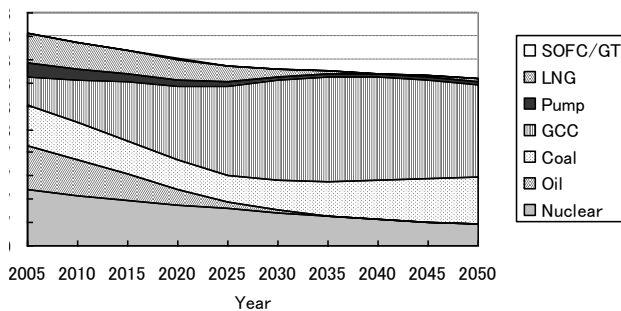


図 1 8 電源構成比（全国（沖縄除く）、
シナリオA+PV導入あり）

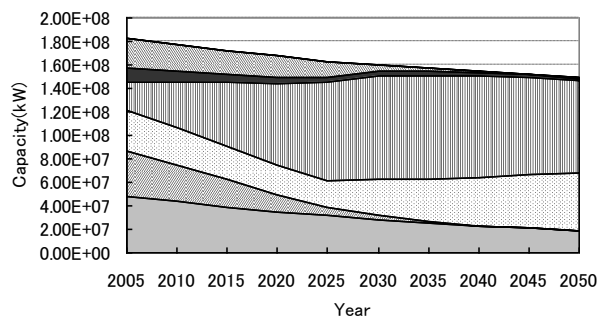


図 1 9 電源構成比（全国（沖縄除く）、
シナリオB+PV導入なし）

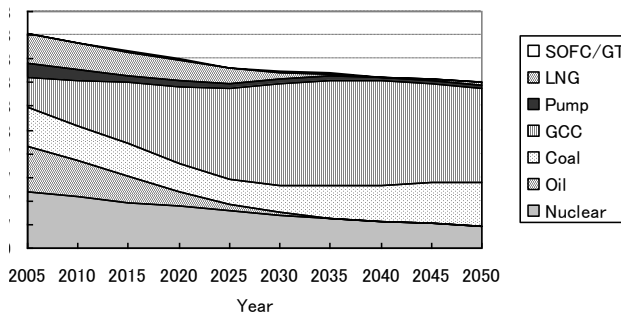


図 2 0 電源構成比（全国（沖縄除く）、
シナリオB+PV導入あり）

以上のように、電源計画と需要モデルとの統合により、様々な温暖化対策を部門間のインタラクションを考慮した中で、評価することができる可能性を示すことができた。そして、太陽光発電の大規模導入した場合の各地域推計結果を、2つの社会シナリオを計算することができた。

課題3：脱温暖化社会の達成に関連するシナリオと技術を表現する知識表現言語の開発と応用

(1) SCINTENGオントロジーの拡張

既往の研究においては、「SCINTENG」というオントロジーを開発した。SCINTENGオントロジーは、標準上位オントロジーの一つである「Epistle Core Model」に基づいて開発したもので、国連大学の元副学長安井至先生の持続技術曼荼羅、JST失敗知識データベース整備事業総括畑村洋太郎先生の失敗まんだらや、化学工学の移動論、元素周期表などを参考にし、エネルギーと持続性技術の研究や事例の機構を論理的に表現するための知識表現言語として、記述論理の基で作成されたオントロジーである。記述論理に基づいて構築した知識表現言語であるため、SCINTENGオントロジーは人間の理解できることとコンピュータが理論的に推論できることとの適切な釣り合いを取っているものと考えられる。このオントロジーでは、約1000種概念（クラス）と約200種概念の関連付け（プロパティ）を持つ。

SCINTENGオントロジーは、工学や材料科学における個別技術の研究から sustainability science における社会状況や問題定義の論理的な記述まで幅広い枠組みを提供する。これに加えて、主な概念化と独立に、対象の現象や物を検討するために利用した解析手法や方法論を定義するための単純な概念化を用意した。具体的には、解析対象とは一つ上の層に研究者が使用した手法やツールを記述するためのクラス（analysis methodやanalysis tool）を abstract object のサブクラスとして定義した。abstract object は、具体的な現象や物を表現するための possible individual クラスと交差することのないクラスとして定義されているので、概念と独立性が保証される。

しかし、本プロジェクトにおける「低炭素社会に向けた12の方策」などの社会シナリオを定義するための、もう一つの表現機構の必要性が明らかになった。具体的には、問題の種類、目標の表現や条件、代替シナリオなどを表現するためのクラスをオントロジーに加えることである。そこで、主に低炭素社会に向けた12の方策の分析に基づいて、SCINTENGオントロジーにおけるシナリオ定義の機構を開発した。シナリオの定義には、具体的な物や現象を記述するためのクラスを再利用できるようにする必要があったので、シナリオ記述の主なクラスである scenario activity と scenario event を、オントロジーの主な概念化にある activity と event のサブクラスとして定義した。しかし、独立性を保つため、scenario activity と scenario event は具体的な現象を表現する human activity や change event などとは交差しないクラスとして定義した。なお、汎用性をなるべく保証するため、このオントロジーの拡張作業を行う際、大阪大学の溝口先生をはじめに、sustainability science に関連するオントロジーを開発しているグループの活動を参考にした。拡張されたSCINTENGオントロジーの3つの要素概念化の相互関係を図2-1に表示する。シナリオの概念化のナレッジモデルの詳細を図2-2に示す。

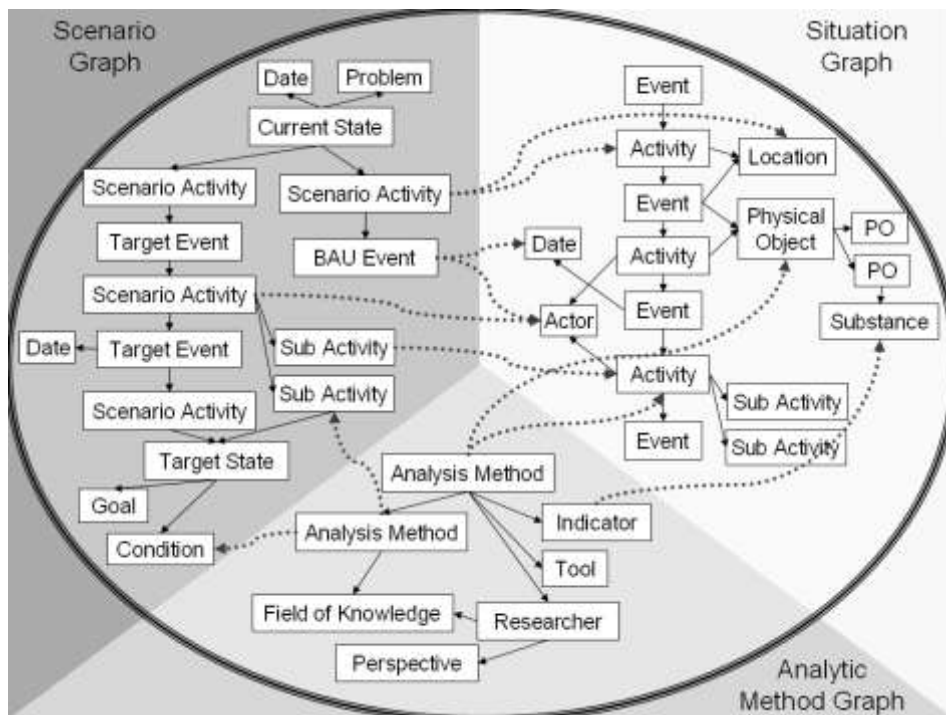


図 2 1
 拡張したSCINTENG
 オントロジーの三
 つの概念化の関係

**Knowledge Model for
 脱温暖化プロジェクト**

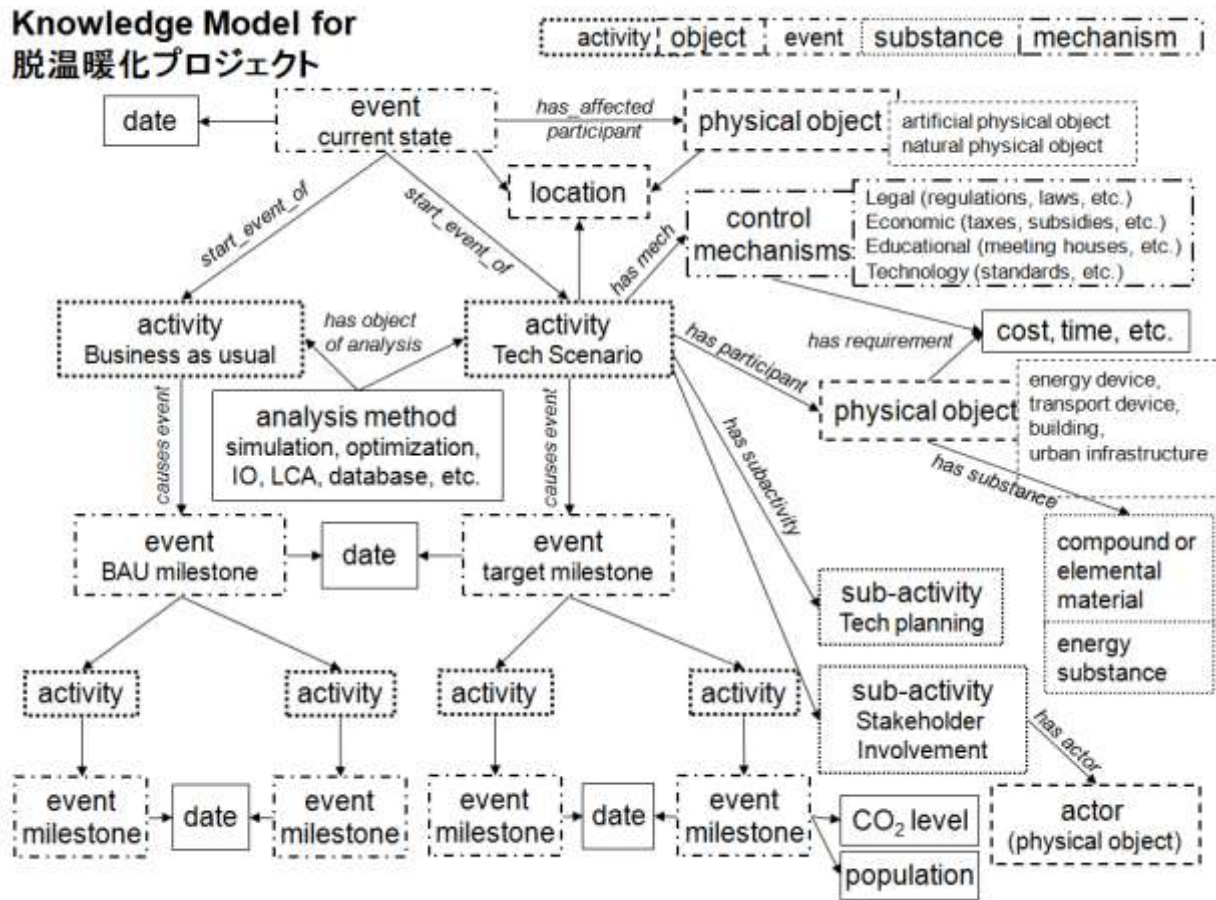


図 2 2 SCINTENGオントロジーにおけるシナリオ概念化のナレッジモデル

(2) 脱温暖化社会のシナリオの「Semantic Statement」の作成

SCINTENGオントロジーの拡張版を用いて、低炭素社会に向けた12の方策のうち、以下の6つを表現する「semantic statement」を作成した。

- 方策3. 安心でおいしい旬産旬消型農業
- 方策4. 森林と共生できる暮らし
- 方策7. 歩いて暮らせる街づくり
- 方策8. カーボンミニマム系統電力
- 方策9. 太陽と風の地産地消
- 方策10. 次世代エネルギー供給

例として、「方策4：森林と共生できる暮らし」のグラフビューを図23に表示する。

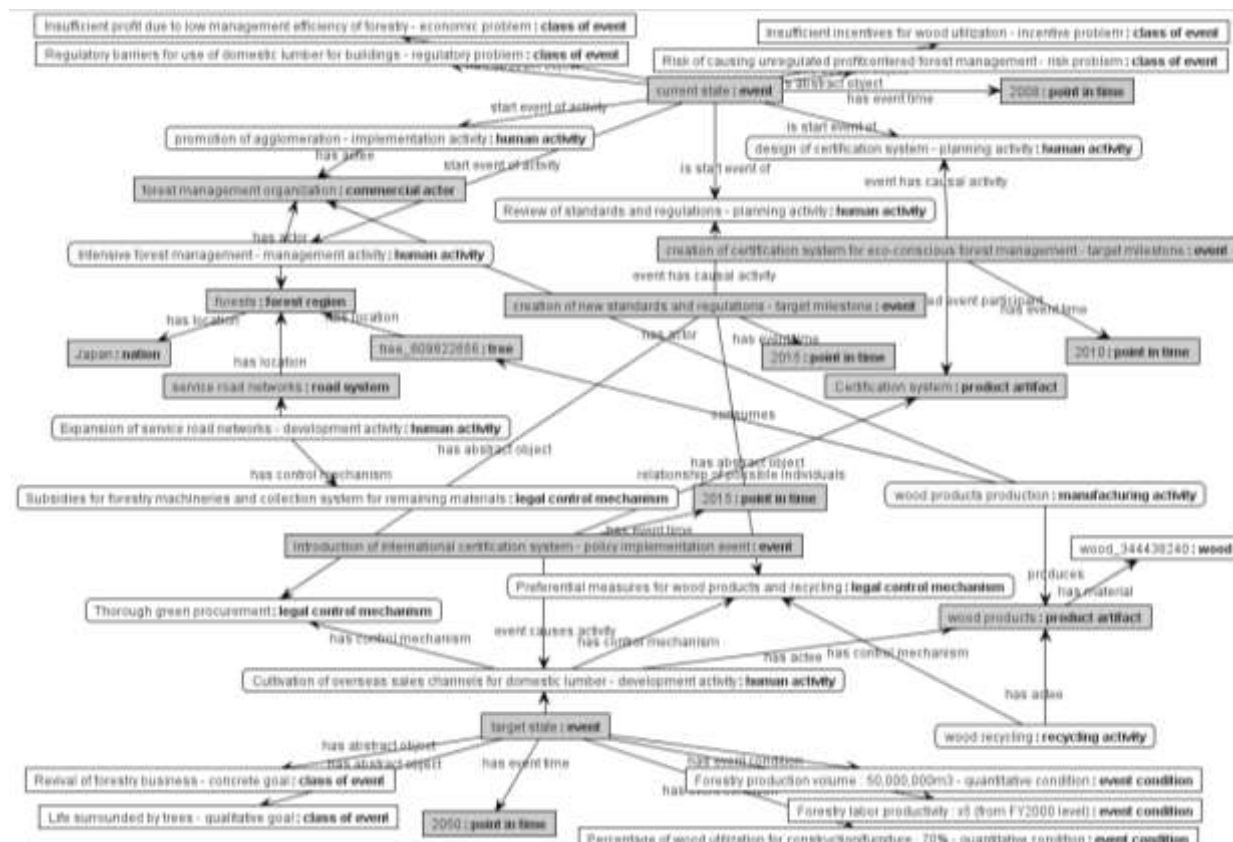


図23 「低炭素社会に向けた12の方策」の方策4：森林と共生できる暮らしの「Semantic Statement」のグラフ表現

これに加えて、新たにシナリオを記述するためのEKOSS semantic statementを、本プロジェクトのシナリオチームと共に検討した。検討では電力部門を中心に据えたが、社会シナリオの作成にあたっては12の方策のように複数のシナリオ間での協調も重要であることから、運輸部門も含めた。これにより得られたシナリオのグラフ表現の一部を図24に示す。

本研究で検討した新たなシナリオ作成手法は、以下で構成される：

[1] 解決すべき問題を特定する

- 発電部門、特に石炭火力発電所由来のCO₂排出量の削減が重要
- 日本における太陽電池の市場導入を加速する必要
- 輸送部門の炭素効率（Carbon efficiency）はほかの部門と比較して低い

[2] シナリオの最終年（本件等では2050年とした）の目標状態を特定する

- 発電部門全体での排出原単位を削減し、火力発電所の30%にCCSを導入する
- 太陽電池設備容量を173 GWに拡大する
- 自動車からのCO₂排出量を削減する

[3] 問題と目標をつなげる概略のシナリオを作成する

- 最適なPV技術の形態として以下の3種類が抽出される
 - コスト高位ケース：スタンドアロンないしは移動型システム
 - コスト中位ケース：系統連系されるが設置可能面積が制約される
 - コスト低位ケース：系統連系され、かつ設置可能面積に上限はない
 期待する効果：系統の新規建設需要の動向が影響する
- 低コストかつ高性能な貯蔵技術（超伝導送電のような低損失線路の設置も不可欠であろう）
期待する効果：負荷水準の管理が影響する
- 電力駆動の割合を高めた自動車の導入に向けたバッテリーとモータ技術
期待する効果：CCSやIGCCのような低CO₂発電技術とのシナジー効果がある
- 燃料電池自動車の実現に向けた燃料電池技術および水素貯蔵技術の探索
期待する効果：駐車中の燃料電池自動車を電力供給源として利用できる可能性もある
期待する効果：PVの余剰電力で水素を製造し、それを燃料電池で消費する可能性もある

[4] EKOSSを用いて具体的な技術をシナリオに関連づける

- 太陽電池の開発目標

高性能太陽電池：効率>20%（2050までに40%の達成目標）、コスト<\$2.2/W、寿命>30年

汎用的太陽電池：効率>15%、コスト<\$1.2/W、寿命>25年

低価格太陽電池：効率>10%、コストをできるだけ安くする、寿命>10年

蓄電設備：効率>95%、コスト<\$/0.05/kWh

- 高効率の石炭ベース発電システム（IGCC, USCSC等）を開発：

コスト<\$1,400/kW, 効率>50% (<45% with CCS)

- 火力発電所に対してコスト、効率面で商業的に導入可能な水準の大規模CCS技術を開発：

コスト<\$50/t CO₂ avoided（目標年：2015/2020）

- 低炭素型自動車の開発、導入目標

- 従来型内燃機関と比較して効率を向上させる
- 2020年までに燃料電池自動車の市場投入が行われる
- 2020年までに水素自動車の市場投入が行われる

[5] [1]-[4]から得られる情報に基づいて、数理モデル等を用いて具体的なシナリオとしてまとめあげる。この際に、個々の技術が概略シナリオを満足できないことが明らかになった場合には、[2]や[3]戻り、必要に応じて概略シナリオないしは技術の性能要件を見直しする。

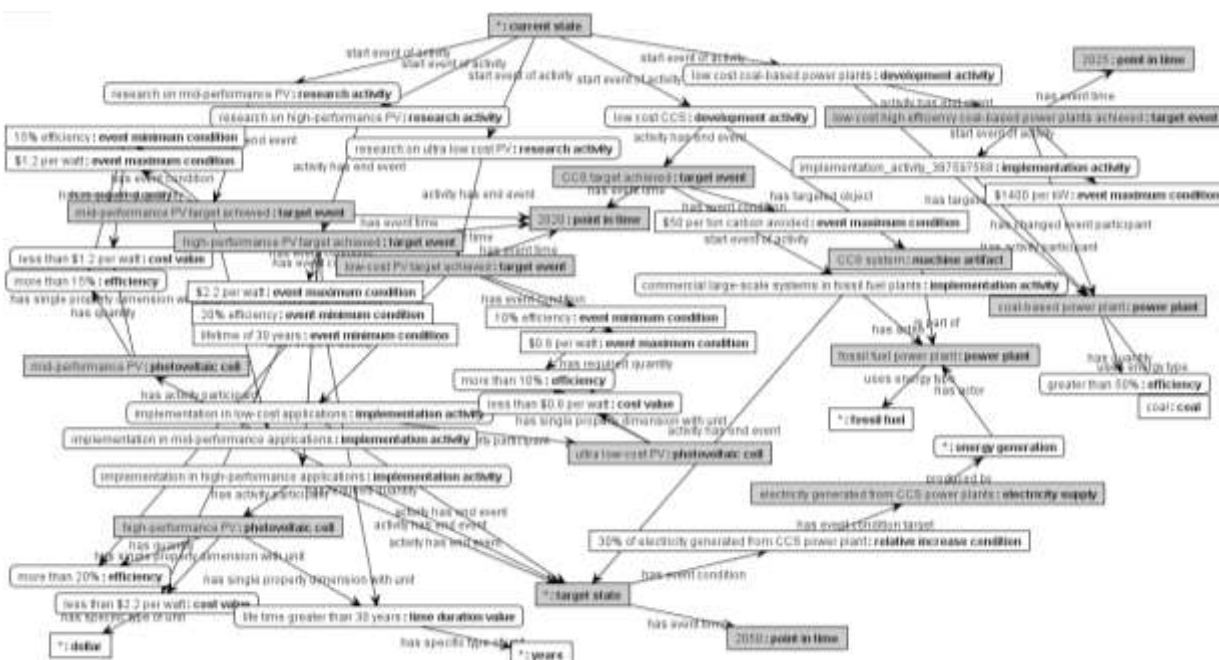


図 2 4 エネ供給技術・全体シナリオ(CSS+PV+EV)の「Semantic Statement」の一部のグラフ表現

(3) 都市対策サブグループのメンバーの研究内容を表現する「Semantic Statement」の作成
 都市対策サブグループのメンバーが書いた論文のうち、脱温暖化社会を達成するシナリオに関連する論文を選択した。そして、EKOSSシステムの使用により、選定した論文の研究的内容が表現する「Semantic Statement」を、上記に説明したオントロジーで作成した。

ここで、作成した「Semantic Statement」の具体例を紹介する。

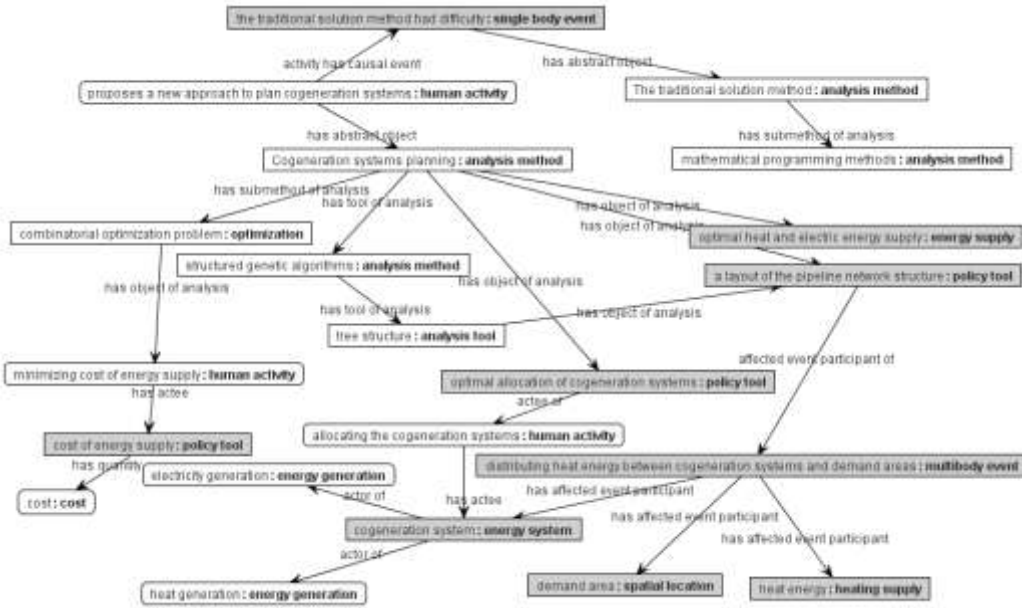


図 2 5 森俊介の記述例：“Cogeneration systems planning using structured genetic algorithms”

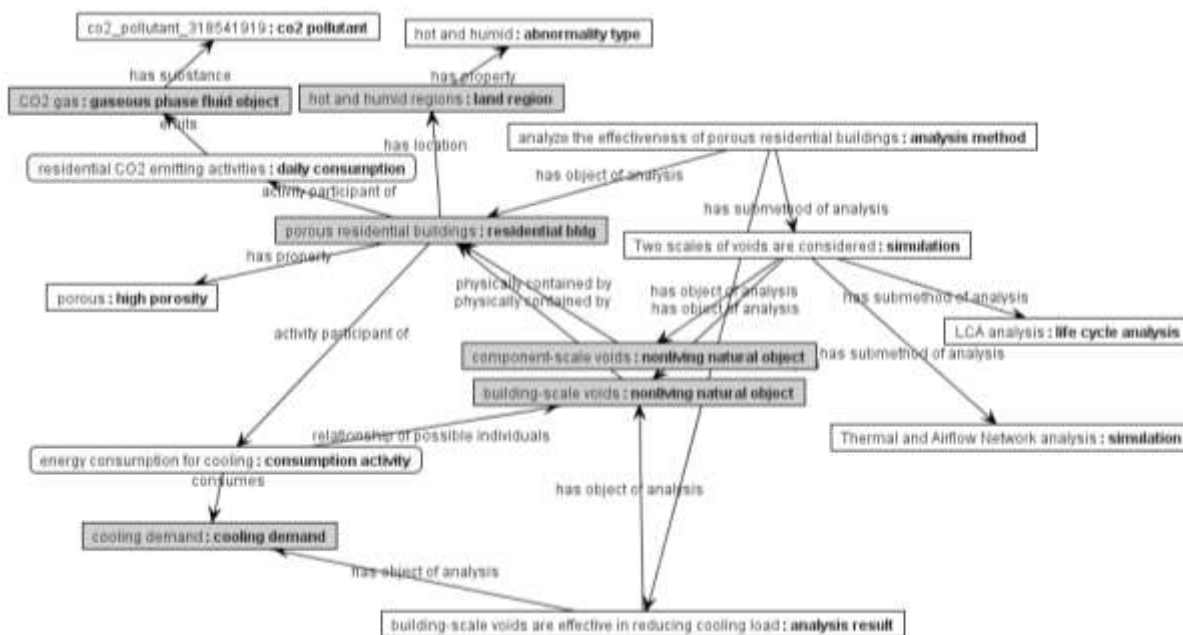


図 2 6 伊香賀俊治の記述例：“A study on a porous residential building model in hot and humid regions part 2 - Reducing the cooling load by component-scale voids and the CO₂ emission reduction effect of the building model”

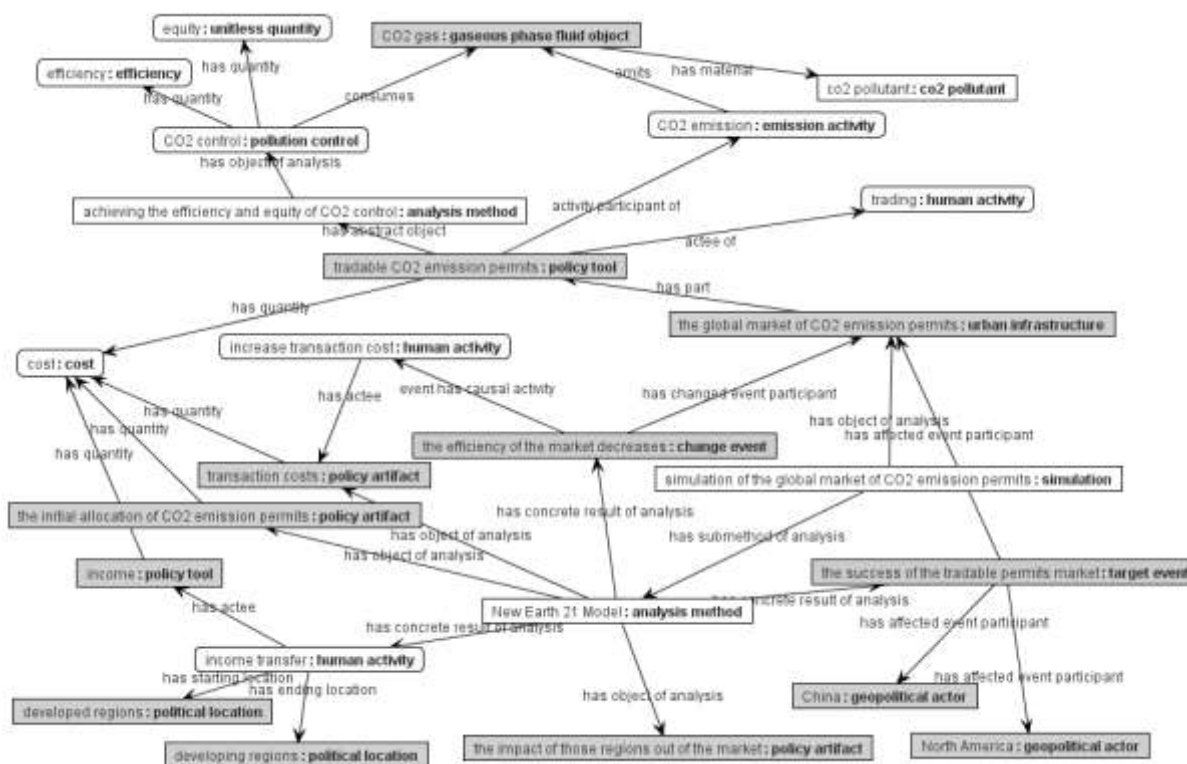


図 2 7 藤井康正の記述例：“Simulation of tradable CO₂ emission permits with the New Earth 21 Model”

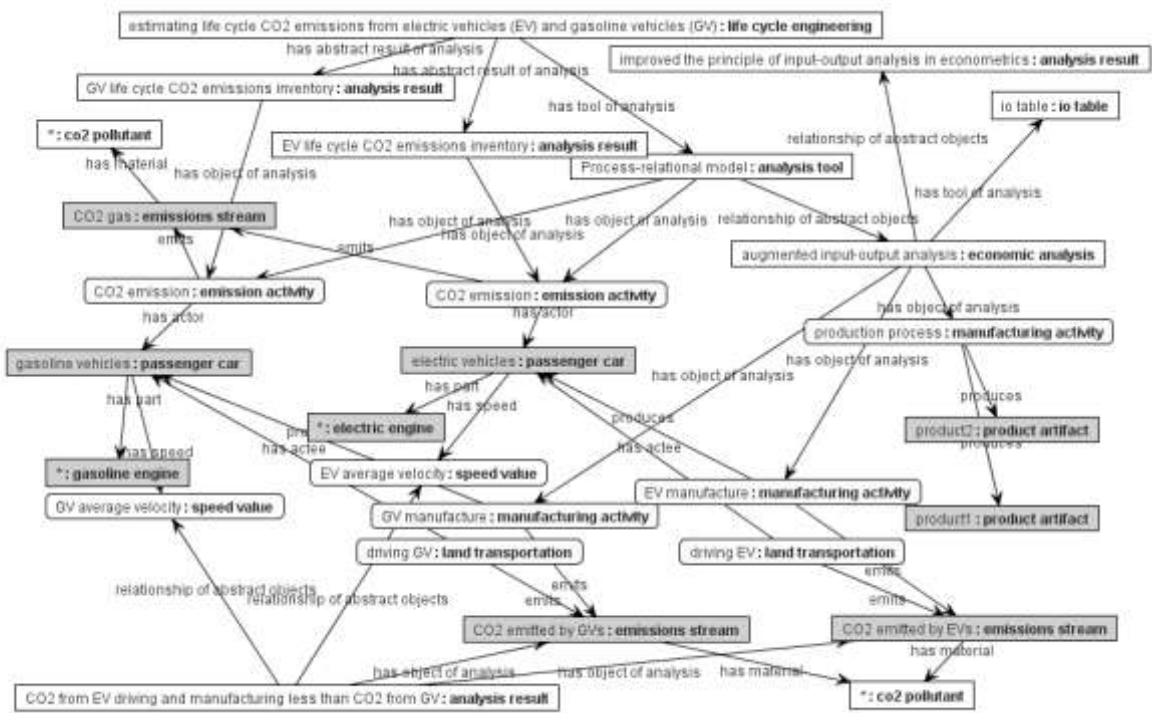


図 2 8 吉田好邦の記述例：“Life cycle of CO₂-emissions from electric vehicles and gasoline vehicles utilizing a process-relational model”

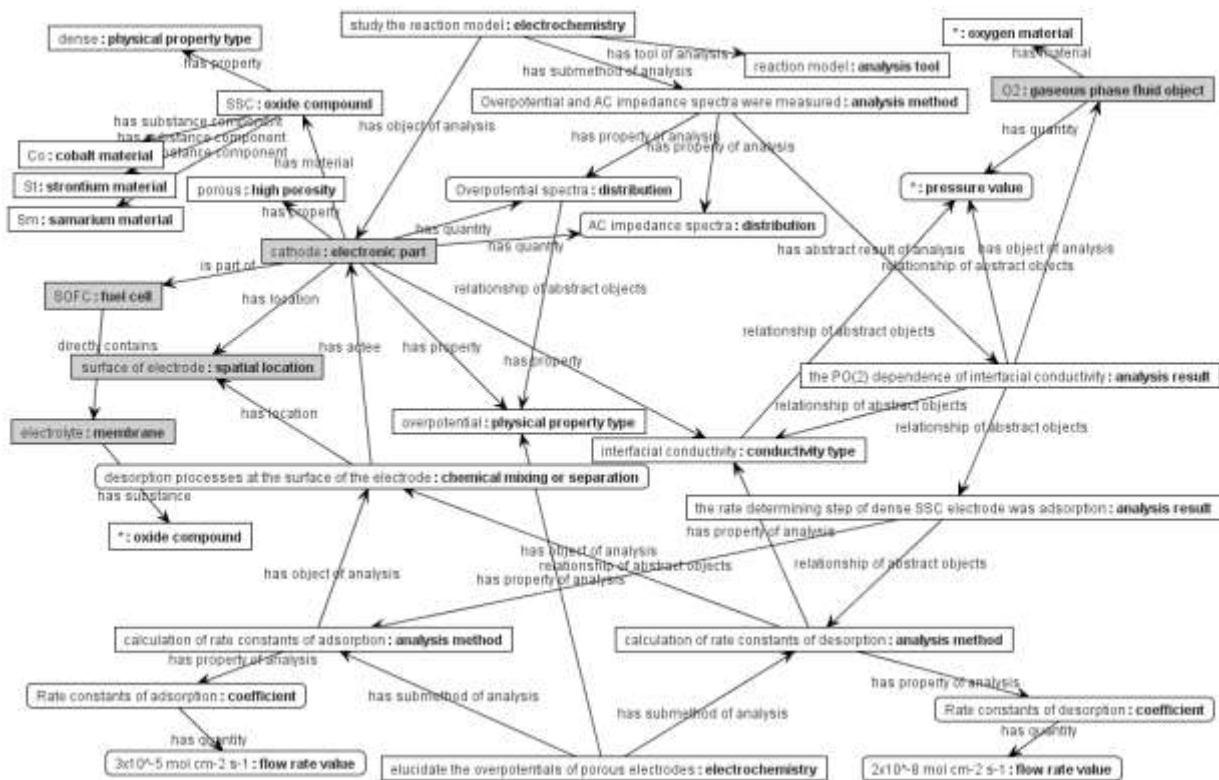


図 2 9 高橋伸英の記述例：“Reaction model of dense Sm_{0.5}Sr_{0.5}CoO₃ as SOFC cathode”

(4) 作成した「Semantic Statement」に基づく意味論的な統合化を検討した

(1) で構築したオントロジーを適用し、技術・政策オプションの記述を意味論的に正確かつコンピュータの処理可能な形に作成できる。そして、(2)と(3)で作成した「Semantic Statement」を利用し、シナリオの検討だけではなく、研究者の研究内容の意味的な近さ、どのような分類があるかなど、様々な解析ができる。さらに、その解析結果を統合化し、DOMEを適応した「ウェブ・ベース協調基盤」の適用性を図ることが可能になると考える。

ひとつの例として、(3)で作成した、都市対策サブグループのメンバーの研究内容を表現する「Semantic Statement」に基づいて、理論的推論を用いて、メンバー間のセマンティック類似性を図った。その例として、図26に示す伊香賀俊治の記述例と図27に示す藤井康正の記述例の重なる部分グラフを図30に示す。そして、都市対策サブグループのメンバーの意味的な関係を表現するネットワークを計算した。そのグラフを図31に示す。

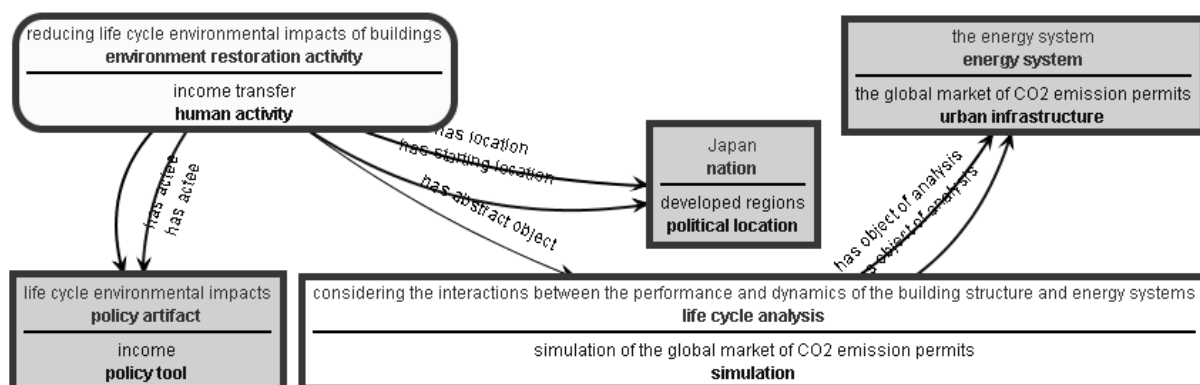


図30 伊香賀俊治の記述例(図26)と藤井康正の記述例(図27)のセマンティック・マッチ結果のグラフビュー。このセマンティック・マッチは図31に示す知識ネットワークの一つの香賀俊治-藤井康正リンクの元情報である。

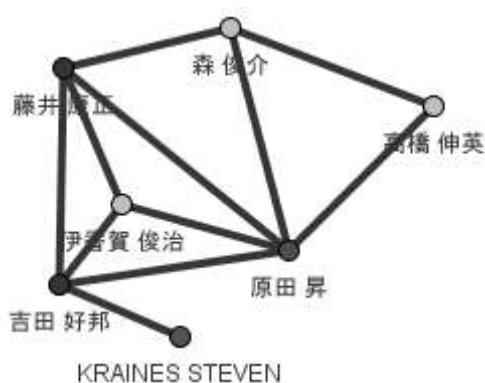


図31

都市対策サブグループの研究者間のセマンティック類似性に基づくネットワークのグラフビュー。研究者は○で表示し、研究者の間の研究類似性は線で表示する。セマンティック類似性は、研究者が最近登校した代表的な論文に基づいて作成したSemantic Statementの重なり具合から計算されて、その類似性の強さは数字と線の種類で表示する。

5. 本研究により得られた成果

(1) 科学的意義

本研究では、持続社会の達成のため、様々な技術や政策オプションを自立的かつ分散的に研究している専門家が持つ知識をインターネット上で更に有効に共有するため、「ウェブ・ベース協

調基盤」を構築した。このウェブ・ベース協調基盤に基づいて、DOME (distributed object-based modeling environment) と呼ばれるモデル統合ソフトウェアを用いて、各部門で作成された個別数値計算モデルを統合し、部門間相互作用を評価する手法を開発したものである。具体的には、Matlabにより構築された電源構成モデルと、MS Excelにより構築された電力需要を削減するための建物省エネルギー対策モデル、住宅・業務省エネルギー対策評価モデルの統合を行った。各モデルは、都市対策サブグループの異なるメンバーによりそれぞれ構築されたもので、統合することを考慮して作成されたものではないが、DOMEを用いることにより、個別モデルでは得られない部門間相互作用や時系列の評価もできることを示すことができた。最後に、さらに多くの関連知識を統合化するため、コンピュータ処理可能な意味記述手法とそれに伴う様々な最先端情報技術を用いて、脱温暖化社会に関連する専門知識のウェブ・ベース共有・探索・統合基盤を開発した。特に、「脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの知識表現言語」としてのオントロジーを開発し、EKOSS (Expert Knowledge Ontology-based Semantic Search) システム上に脱温暖化社会に関連するシナリオや個別技術の専門知識を記述した。そして、その専門知識の記述のもとで、セマンティック・マッチングなど、意味的な知識統合化の可能性を検討した。

この「ウェブ・ベース協調基盤」の実現により、温暖化やほかの深刻な地球問題を避ける持続社会に向けて、多様多様の中長期的政策オプションの多面性を総合的に評価・予測・立案するために必要な専門知識の統合化・構造化ができる。

(2) 地球環境政策への貢献

「ウェブ・ベース協調基盤」の改善とコンテンツの作成により、有用な専門知識を共有するツールができた。そして、DOMEのモデル統合環境を用いて、様々な数値計算モデルやデータベースをウェブ上に繋げ、脱温暖化社会のシナリオを総合的に評価することに使用できる統合モデルを作成する手法の適用可能性を検討した。さらに、様々な技術や政策オプションの多面性を意味論的かつコンピュータの処理可能な形で記述できるような知識表現言語として構築したオントロジーを元に様々な温暖化対策に関連するシナリオや個別技術の記述を作成し、その記述に基づく知識の意味的な統合化の可能性を検討した。

このウェブ・ベース協調基盤とオントロジーは、脱温暖化社会に向けた中長期的政策オプションの多面的かつ総合的な評価・予測・立案を行うための有効な知識リソースになると考えられる。研究成果を基に、温暖化対策の政策立案に利用できる有用なツールになる、プロジェクト内外の専門家の知識共有と統合を支援する協調基盤ができると考える。

6. 引用文献

特に記載すべき事項はない。

7. 国際共同研究等の状況

マサチューセッツ工科大学のCAD研究室との共同研究を継続し、分散型モデル統合化のためのソフトウェア開発を行った。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表

<論文（査読あり）>

特に記載すべき事項はない。

<査読付論文に準ずる成果発表>（社会科学系の課題のみ記載可）

特に記載すべき事項はない。

<その他誌上発表（査読なし）>

特に記載すべき事項はない。

(2) 口頭発表（学会）

1) Steven Kraines, Toshiharu Ikaga, Tomoyuki Chikamoto, David Wallace:

“Model-Integration Based Evaluation of Technologies to Promote Sustainability in the Building, Electricity, and Transportation Sectors of Tokyo, Japan”（口頭発表）, ISIE 2006 Annual Meeting (Stockholm, Sweden), International Society for Industrial Ecology, 2006

2) Steven Kraines, Brian Kemper, Rafael Batres: “EKOSS Ontology: A Prototype for a Domain Ontology for Industrial Ecology”（ポスター発表）, ISIE 2006 Annual Meeting (Stockholm, Sweden), International Society for Industrial Ecology, 2006

3) Yasuo Inoue, Yukio Yanagisawa, Steven Kraines: “Estimation of collection costs for municipal garbage using grid-based city models”（ポスター発表）, ISIE 2006 Annual Meeting (Stockholm, Sweden), International Society for Industrial Ecology, 2006

4) 石田 武志, Steven Kraines: 「モデル統合基盤により複数モデルを連動させた首都圏CO₂削減シミュレーション」, エネルギー・資源学会, 第23回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.159-162, 2007.1

5) Steven Kraines: “Developing visions for a Low-Carbon Society through sustainable development”, “Evaluation of the mid to long-term effects of the introduction of measures for reducing CO₂ emissions in cities”, The second workshop of Japan-UK joint research project, London, England, 2007

6) 石田 武志, Steven Kraines: 「モデル統合基盤により複数モデルを連動させた国内CO₂削減シミュレーション」, エネルギー・資源学会, 第24回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集, pp.223-226, 2008

(3) 出願特許

特に記載すべき事項はない。

(4) シンポジウム、セミナーの開催（主催のもの）

特に記載すべき事項はない。

(5) マスコミ等への公表・報道等

特に記載すべき事項はない。

(6) その他

特に記載すべき事項はない。