

工学知識間の認知的距離測定による 意味ネットワークモデリング

A Semantic Network Modeling with measuring the Cognitional Distance
between Engineering Knowledge

尹 泰聖
TaeSung YOON

東京大学 工学部 総合試験所
(〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 E-mail: yoon@sogo.t.u-tokyo.ac.jp)

ABSTRACT. Engineering knowledge is normally structured within the engineering domains, such as mechanical engineering or chemical engineering. In this structure, the distance between engineering knowledge is considered to be a strict and equal one. This approach, however, could not satisfy the requirement of constructing a classification and search system of engineering knowledge in the Internet era. In this paper, we are describing the new concept of cognitional distance between engineering knowledge. With measuring the cognitional distance, the whole engineering knowledge is represented on the semantic network. The detail data model and working process are explained in this paper with using some practical examples. Our concept has been internationally experimented with the cooperation of researchers.

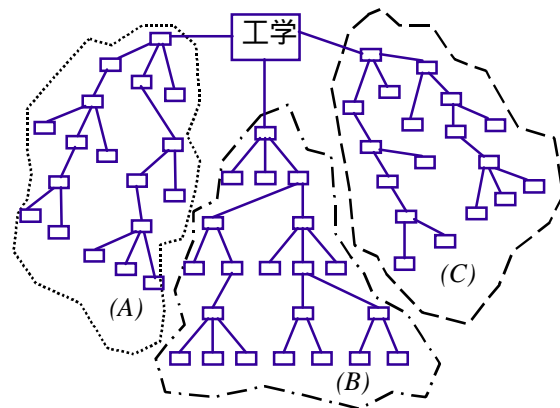
1. 背景

産業振興のためには改善活動などから得た知識をストックして再利用することが重要である。もし適切なときに適切な知識を提供できる環境を作れば、高い費用を払いながら研究開発をしなくても解決できる問題は多い [1]。また、国家経済における知識基盤の重要性が強調されているなかで [7]、知識の獲得 [6] や知識の利用 [5] [9]、知識の加工 [2] などに関しては様々な方法や理論が提案されている。また、知識は個人の経験、希望、意図などとも密接な関連があること [8] から、一定な深さでその知識を表現および交換するためのモデリング方法も提案されている [10]。

知識は一般的に各々の領域別に区分整理される。知識間の関係は、ある領域内で階層分類され知識全体の構造は木構造で表現されることが多い。例えば、工学知識が工学領域別に階層分類されている様子を Figure 1 に示す。ここで、工学という大分類は三つの領域に細分類されている。領域 A、領域 B、領域 C は、例えば、機械工学、化学工学、建築工学などに対応している。すなわち、工学知識は、工学という大分類の下にまた機械工学、化学工学、建築工学などの領域別に細分類される。

工学知識はある領域内での上位概念と下位概念として分類されてある。上位概念と下位概念との関係は、例えば、機械加工と切削加工のような関係として理解される。一般的に機械加工という分類は、その下に切削加工があって、切削加工の下にはまた旋盤加工、フライス盤加工、ドリル加工などの分類がある。旋盤加工はまた CNC 旋盤

加工や NC 旋盤加工などに細分類される。上位概念は下位概念を含む集合であり、下位概念は上位概念の要素であると考慮される。いわゆるオブジェクト指向パラダイムでの、スーパークラスとサブクラスの関係に対応している。従って、工学知識間の関係は上位概念から下位概念へ、この下位概念がまた上位概念になってその下位概念へ細分類されていく。



例えば、(A):機械工学、(B):化学工学、(C):建築工学

Figure 1. Typical hierarchical classification of engineering knowledge within the engineering domains. Domain A, B and C are related with, for example, mechanical engineering, chemical engineering and architectural engineering, respectively.

階層分類された知識は、一般的に、ある領域内のみ

識のストックや再利用などに成功している。これは、密閉された領域のなかで階層分類が行なわれた結果である。また、上位概念と下位概念が1対Nの関係をもつからでもある。しかし、対象にする領域を広げるのは難しいし高価であるため、対象領域を制限するのが一般的であった。例として、熱交換機的设计に関する知識を考えてみよう。特定プラントだけを対象にして、熱交換器的设计活動や设计知識を階層分類するのは難しくない作業であろう。しかし、プラント業界の全会員社を対象にすると、要求される设计活動の内容や设计知識が異なるため、1対Nの階層分類は難しくなる。もし、IDEF0の活動モデルやオントロジなどをベースにして業界標準の知識ベースをつくらうとしたら高価な作業になる。機械工学、建築工学、化学工学など、工学の領域を無くして、完全にオープンしてからの知識の体系化は知識の上位概念と下位概念もM対Nの関係になるので非常に難しく大変高価になる。従って、このような作業に関しては、今まで実用化レベルまで成功したところはまだない。

しかし、この演繹的な考え方は、知識管理という観点から非常に有効な手段として考えられてきた。特に、あらゆる分野でのコンピュータの使用が日常的になったことに伴って、莫大な関連知識をデータベース化して蓄積するのも一般的になっている。例えば、計算機援用機械設計のCAD (Computer Aided Design) システムと知識ベースとの関係やプラントのライフサイクル活動を支援するためのデータウェアハウス [3] の構築などは、特定分野での知識の獲得、表現、保存、交換、加工、再利用に部分的に成功している。

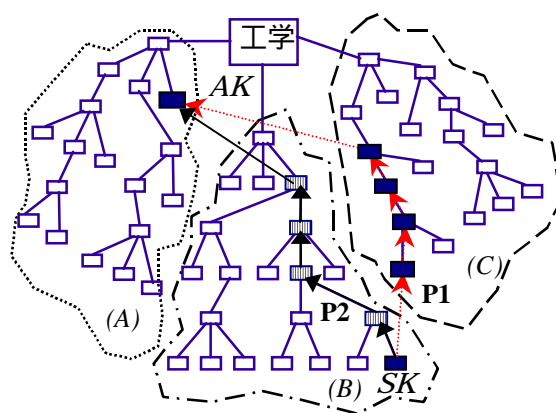
一般的に、領域別に区分整理された知識とデータ管理システムを合わせて利用するとその効果が期待される。例えば、製品モデルデータ管理システム、PDM (Product Data Management) システム、はデータを中心にして设计活動や生産活動などを統合管理していくことを目的にする。このシステムはまた販売時点管理システム、POS (Point Of Sales) システム、と関係することによって、在庫管理などを含めた生産活動のライフサイクルを支援する上で非常に重要な役割を果たす。データの表現や交換のためのデータモデルには世界標準のSTEP [4] などと連携して製造業では広く採択され利用されている概念である。

知識は、知識の本質とその本質を把握するためのメタ知識に区分される。工学知識の管理には、この二つを区分して管理する必要がある。たとえば、生産現場でよく使う統計的品質管理や生産管理の手法では、データを中心にして管理するのが一般的である。このデータは、生産現場の本質を伝えてくれる一種のメタ知識として考えられる。例として、あるCNC旋盤加工を考えてみよう。CNC旋盤加工を理解するためには、応力、強度、主軸移送範囲、主軸移送速度、許容公差などの知識に加えて、コントローラや動力学などの知識が必要である。CNC旋盤加工はある金属素材から要求された形状を持つ部品を切削加工するのが目的である。従って、切削加工された部品の寸法や公差などを測定したデータを統計的に分析して、その傾向を把握することによって、CNC旋盤加工に関する知識の本質を把握することもできる。データ管理と知識管理を混在して使用するところも多い。領域別に階層分類された知識は、一般的に知識自体の定義が厳密で知識間の関連が硬い。従って、領域別に区分された知識では、技術革新や新しい知識の生成への支援が難し

い。工学領域をなくしての知識の表現や利用などには新しい方法論が必要である。

2. 統合領域の工学知識

工学知識の分類は、例えば機械工学や化学工学のような対象学問からの伝統的分類もあれば、加工や測定など機能からの分類もできる。Figure 2の領域A、領域B、領域Cを各々加工領域、測定領域、設計領域として、上述の旋盤加工の問題を考えてみよう。領域Bのあるところを出発知識(SK)にして、領域Aにある到達知識(AK)に到達するための経路探索を問題の定義とする。例えば、領域Bの出発点を測定された部品の寸法として、これに関する知識を出発知識とする。与えられた問題は、寸法に関する知識から出発してCNC旋盤加工に関する知識を得ることである。



AK: 到達知識, SK: 出発知識
P1, P2: 出発知識から到達知識までの各経路

Figure 2. P1 and P2 represent the two different paths from start knowledge to arrive knowledge, respectively.

この問題を解決するために、領域Bにある測定された部品の寸法知識から、許容公差などの知識がある設計領域、即ち領域Cにある知識を参考にする。この時、寸法と許容公差を結びつけるのが、知識間の関連である。寸法から許容公差が関連された後は、また許容公差から関連される知識を探す。この探索を繰り返して実施することによって、領域AにあるCNC旋盤加工に到達する。ここが到達知識で、P1である。また新しい経路P2も考えられる。P2はP1と出発知識は同じであるが、領域Cの設計知識の代わりに、領域Bの測定知識から関連される知識を探している。

ある知識から他の知識を関連させて、出発知識と到達知識間の経路を探索する問題は、特に、莫大な知識がインターネット上に存在している現在には非常に有効な考え方である。しかし、知識を領域別に区分整理するという現在のパラダイムでは、知識間の距離が一定で、その定義が非常に硬いため新しい方法論が必要になる。この問題に対して我々は知識間の認知的距離を提案する。

3. 工学知識間の認知的距離

3.1. 認知的距離の導入

人間は考える動物であり連想する動物である。例えば、テレビを見ながら他のことを連想するのは自然的であり、だれにもできることである。しかし、専門分野の場合、ある専門用語を聞いたときの連想は、その分野の専門家と一般人の間に激しい差があると思われる。この専門家が連想した結果を、本研究では知識間の認知的距離と呼ぶ。認知的距離の例として、計算機援用設計、CAD (Computer Aided Design)、に関して連想してみよう。工学は機械工学、化学工学、建築工学などに分類され、また、機械工学はまた機械設計や機械加工などに分類される。機械設計はまた細かく分類され、その一つが計算機援用機械設計であるCADになる。建築工学から建築設計へ、そしてCADへという分類もできる。また、化学工学からプラント設計へ、そしてCADへという分類もできる。このように、CADシステムは使用される工学領域によって機械CAD、建築CAD、プラントCAD、VLSI CADなどの名前をもってそれぞれの特性をもって発展されている。ここでは、CAD分野の専門家の立場から連想していく。専門家の思考の流れを追跡して、その経路を明確にすることは、知識の体系化に非常に大事な基礎になる。本プロジェクトでは、専門家に偏見を与えるようなことを一切せず、自由な発想で連想していくようにした。作業はまず知識の収集から始まる。Figure 3は収集された知識を示している。知識はキーワード単位で収集されているが、この段階では知識間の認知的距離は測定されていない。

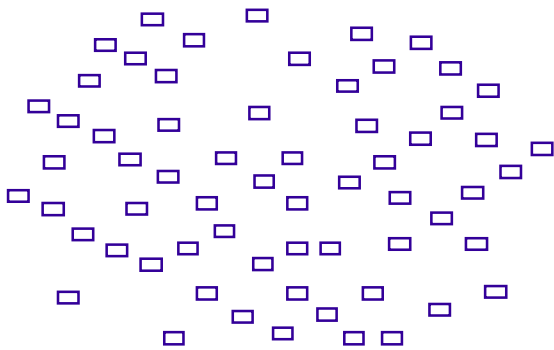


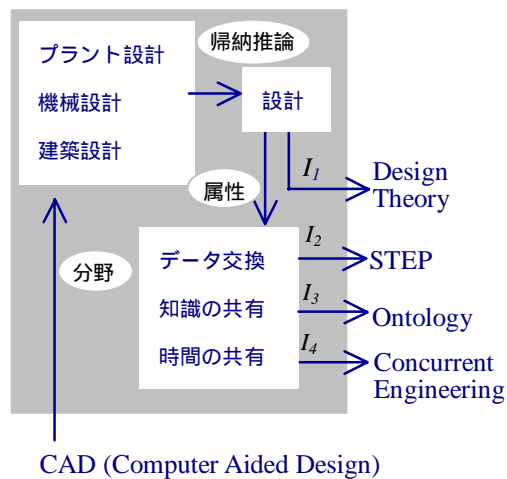
Figure 3. Each square represents the raw knowledge as collected. It can start from any knowledge to make relation between knowledge.

Figure 3の任意のところから連想していく。この自由連想によって、知識間の分類はハードな分類からソフトな分類へ発展する。また、新しい関連や発見、新しい知識の生成やその予測などへ発展する。ここでいうハードな分類は、例えば、機械加工が上位概念なら、切削加工が下位概念になるのは当然だと思ふ分類である。これは、オブジェクト指向パラダイムである。これに対してソフトな分類とは、上位概念の機械加工から、下位概念として形状の分割を分類するようなことである。機械加工を仮想現実で実施すると、加工されてなくなる部分の処理は計算幾何学では形状の分割問題になる。また、上位概念の切削加工から、加工時の金属音を連想して、音波という概念を下位概念にするのもソフトな分類である。ハードな分類の場合は知識間の距離は一定であるが、ソフ

トな分類の場合は、知識間の距離は連想する専門家によって変わる。知識間の認知的距離は主観的距离であり、外部の影響やイベントなどによって変わる距離である。

3.2. 認知的距離の概要

専門家の思考の流れに従って、例として「CAD」から関連知識への認知的距離を測定する。CADを適用する分野には、例えば機械設計、プラント設計、回路設計、建築設計などがある。この分野から、CADを適用する目的はあるものを「設計」することにあると帰納推論される。Figure 4はCADから設計を通じて幾つかの工学知識へ関連される模様を示している。ここで I_1 から I_4 までは帰納推論された内容と関連知識間の特徴を表すインデックスである。インデックスには、理論、標準、表現、方法などがある。専門家の帰納推論過程は知識の体系化からも、脳の研究からも非常に大事なことであるが、そのメカニズムを明確に説明できる理論はまだない。従って、ここでは、帰納推論された結果だけを利用して議論して行く。



I_1 : Theory, I_2 : Standard, I_3 : Representation, I_4 : Methodology

Figure 4. The cognitional distance between CAD and related knowledge, via “designing”.

帰納推論された「設計」からは、その理論に関する知識として「設計論 (Design Theory)」へ関連される。また、設計の属性としていくつかのことが連想される。例えば、設計された結果に対してそのデータを交換することは、全世界に分散されて、協調しながら、ネットワークを通じて設計している共同開発チームにとっては非常に重要な管理項目である。従って、データ交換の世界標準である「STEP (STandard for the Exchange of Product model data)」知識に関連される。同じようにすると、設計というのは、あらゆる参加者達が時間を共有しながら作業することをわかる。従って、その方法論として「Concurrent Engineering」が関連される。また、設計は、あらゆる参加者達が知識を共有しながら作業することでもある。従って、知識の表現論として、「オントロジ (Ontology)」が関連される。もう一つの例を Figure 5 に示す。CADはコンピュータを使うことを前提してからの知識である。従って、コンピュータのハードウェアやソフトウェアはCADには欠かせない知識である。このことから、分散処理のための「Client Server System」や、知能処理のた

めの「知能エージェント(Intelligent Agent)」の知識が関連される。

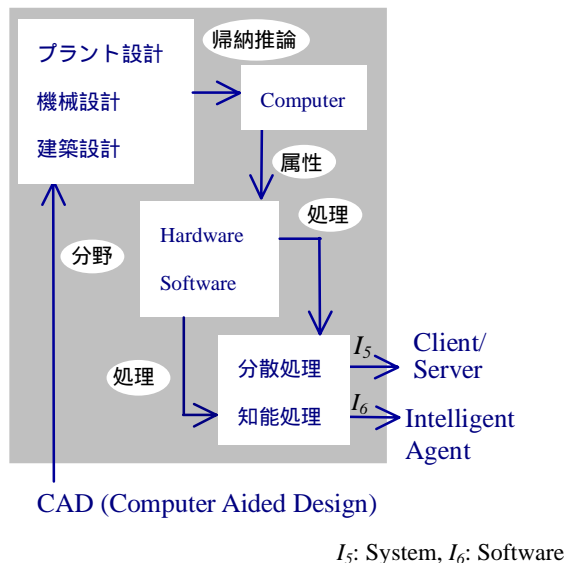


Figure 5. The cognitional distance between CAD and related knowledge, via “computer”.

CAD から帰納推論されるのは設計やコンピュータだけではない。例えば、CAD を機械設計に適用するのは、なにかを「生産」するためである。なにかを生産するためには、材料設計や工程計画などが必要になる。そのためには、「製造指向設計」や「日程計画」、「在庫管理」、「CAM (Computer Aided Manufacturing)」などの知識が関連される。この他にも、CAD からは「形状処理」、「意図表現」や「原価管理」など様々な知識が関連される。しかし、CAD と関連される知識間の認知的距離は連想する専門家によって変わることになる。

3.3. データモデリング

工学知識に対するデータモデルは、キーワード (keyword)、類似語 (analogy)、主な工学領域 (domain)、関連サイトや推薦サイトの住所(URL)、知識間の関連づけ (relation)、テキスト(text book)、背景知識 (background knowledge)、関連学会(society) などから構成される。ここで、知識間の関連づけは知識間の認知的距離と関連する部分である。以下、データモデルの詳細を説明する。

まず、関連するサイトの住所(URL)は、その内容によって、概念 (concept)、材料(material)、学会誌 (journal)、オンライン情報提供 (on-line information)、データライブラリ (data library)、生産工程 (process)、方法 (method)、研究グループ (research group)、参考文献 (bibliography)、製品 (product)、実験 (experiment)、リンク集 (link)、人 (person)、ソフトウェア (software)、プロジェクト (project)、会議 (conference) などのインデックスをつけた。機関としては、大学 (university)、政府 (government)、会社 (company)、団体 (organization) に区別した。

インデックスに対する厳密な定義はしていない。なぜなら、本プロジェクトに参加した研究者は、全て、専門分野が違うので、本質が同じことを違う言葉で表現するこ

とが多い。いわゆるオントロジの問題である。例えば、ある研究者が製品だと思うところを別の研究者は方法だと関連つける可能性もある。今後の大規模作業に向けてはオントロジの定義よりは、多重インデックスの方針を考えている。知識に関する定義を厳密にするのは、密閉された領域内での階層分類にはいいが、統合された異領域間の知識の体系化には向いてないと思うからである。関連づけは、専門家の主観が入る部分であり、その理由も人々によって違う。しかし、非専門分野のユーザには新しい概念や知識を提供できる部分でもある。また、背景知識は、あるキーワードに関する知識を得たいと思う人のために必要になる基礎科目である。

本プロジェクトの対象にするのは理工学分野を中心とする領域である。従って、ここで説明するデータモデリングとデータベース作業は、社会科学分野の知識と統合する場合はデータモデル修正の可能性はある。

3.4. 認知的距離の測定

工学知識間の認知的距離の測定には、機械工学、化学工学、経営工学、金属工学、材料工学、電気工学、電子工学、航空工学、生物工学、コンピュータ工学の各領域から選ばれた研究者達が、データモデリングからそれに関するデータ作成作業などを含めて約5ヶ月間実施した。作業内容には、URL の紹介や知識間の関連づけなど、データモデルにある全ての項目に対する作業が含まれた。作業者は、国籍が日本、韓国、中国、ハンガリー、ルマニア、イギリス、アメリカで、普段使う自然言語が違うようにした。また、教授や研究員を中心にして、研究経歴と専門性を守りながらも個人の最終学力に差があるようにした。これは、知識の体系化という問題に、制限された領域の制限された人だけの体制で対応すると、実用化まで成功するのは無理だと判断したからである。また、この作業には、知識の世界調達の為の仮想組織の運営やその管理システム作りの目的もあった。

実施は、参加者がよく知っている工学知識のキーワードを自分で選ぶようにして、参加者の間で重複するキーワードがないところから作業をスタートした。これには、特定工学領域で使われている中心的なキーワードを把握する意味もあった。実施期間中、参加者間の連絡やデータのやり取りなどは全てがインターネット上で行われた。ここには、ネット時代の知識の交換や調達システムの為のテストの意味もあった。

作業の順番は、あるキーワードに対する類似語の作成から始まる。類似語とは同じ意味で使ってもいい用語で、ある工学領域で暗黙的に使われている用語があれば書くようにした。つぎは、その用語に対して、上位概念と下位概念と思われる知識を書くようにしたが、できるだけ、二つ以上書くようにした。これは、知識間の分類を1対Nの分類から、M対Nの多重分類にするための意味をもつ。また、この知識は工学のどの領域で利用されているかを聞いた。これは、作業者がどの工学領域を前提にしながら作業を進行したかを把握するためである。また、研究情報システムの本格的な開発に向けて、データ内容のバランスを維持するための基準にもなる。

つづいて、そのキーワードの知識をよく理解するために、推薦できるインターネットサイトのURLを紹介するよう

にした。これは、ある分野の研究者や学生達に有意義なサイトを分析することによって、現在のトレンドを把握すると共に人々が知りたい知識はなにかを推論するためでもあった。しかし、実際に推薦されたサイトは、作業者が理解できる自然言語によって影響されたと思われる。

以上の作業が終わってから、キーワードに関連する知識とその理由を連想するようにした。一つのキーワードに対して要求した全作業の 80%位のところで関連知識を連想するのは、80%の作業を通じてこのキーワードが持つ意味などを十分考えてその中から関連する知識を得る為であった。この部分は、特定分野での経験年数によってかなり差があった。当然なことで、経験が多い人ほど、深くて意味がある関連を提示した。

最後に、そのキーワードに関して勉強するためのいいテキストがあれば推薦するようにした。また関連学会があれば推薦するようにした。結果として推薦されたのは、英語で書かれた本と世界的に有名でメジャーな学会が中心であった。これは、知識の世界でも弱肉強食の原理が通用することを示しているかもしれない。しかし、今回の開発では母集団が小さいため統計的な仮説検証はできなかった。これは今後の課題でもある。

3.5. 意味ネットワークモデリング

知識間の認知的距離を測定した結果から Figure 6 の意味ネットワークモデルを生成できる。この作業を通じて新しく生成された知識を NK とすると、出発知識 SK から到達知識 AK までにはいままでなかった P3 という経路も生成される。従って、ある知識に関して今までと全く異なる見方ができることを示している。意味ネットワークのアーキは Figure 4 の I_1 などのインデックスに対応している。

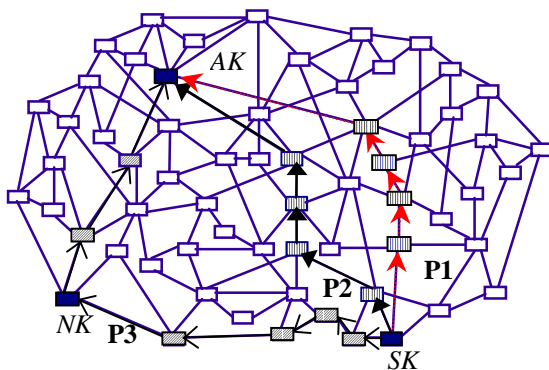


Figure 6. The creation of new path, P3, from the start knowledge to the arrive knowledge via the new knowledge, NK, on the semantic network.

4. 成果物と向後計画

今回の開発からは、知的資源の独自分類と検索システムの構築のための基本になる、工学知識間の認知的距離の測定と意味ネットワークモデリングの概念の確立とその実証作業ができた。また、知識の表現のためのデータモデルを定義して利用した。成果物として工学キーワード約 500 個に関する作業をして、その結果を知識ベースと

してストックすることができた。今回の開発では作業結果を表計算ソフトである MS Excel を使って保存している。これから知識サービスをインターネット上で実施する場合にはタグ言語である XML で表現するののも一つの方法であると考えている。しかし、タグ言語を使う場合はまず使うタグに関しての定義と解析が必要になるため、統合領域での工学オントロジと同じような問題が発生する。これからのインターネット環境がオントロジとその間のインタフェースを重視する意味ウェブ (Semantic Web) になっていく中で一つの重要な課題である。

今回の開発からの成果物のもう一つは、知識間の認知的距離測定作業のために仮想組織を運営したことである。この仮想組織からなるネット上の集合天才の試図は、これからの知識分野の研究と実用化のために非常に大事な基礎になると思われる。また、知識間の認知的距離の測定とそれに伴う意味ネットワークモデリングの考え方は、知識コミュニティと合わせて、知識基盤社会に向けての非常に重要な要素技術になると思われる [11][12]。しかし、今回の開発からは以下のような幾つかの課題も現れて、今後の継続的な開発が要求される。

4.1. 意味ネットワーク検索システムへの反映

ポータルサイトの大部分は、キーワード方式等で検索した後、利用者がサイトを直接探していく、1 世代検索エンジンを使っている。自然語検索が可能な 2 世代検索エンジンが開発されたが、検索結果がサイト住所と要約内容中心なので、自分に合うサイトを検索するのは、ユーザには容易ではない。最近登場した 3 世代検索エンジンは、正確なサイト住所に加えて、画面と内容まで見せてくれる差別化になっている。最近の検索エンジンには、テキスト形式以外に、3 次元画面でもサイトイメージなどを同時に見せるビジュアル方式もある。

しかし、各種検索エンジンの登場にもかかわらず、正確な情報を速く探そうというユーザの欲求はより一層大きくなっている。今回開発された知識間の認知的距離の測定結果は意味ネットワークで簡単に表現される構造もっている。従って、知識の分類と検索のためには意味ネットワーク検索システムを本格的に開発する必要がある。しかし、今回の成果から実用化システムを構築させるためには、キーワードベースで概ね 10 万個以上のデータが必要になると思われる。一般的に利用される工学キーワードが 10 万個くらいであることから、工学に関連する知識の体系化にも 10 万個で対応できる範囲だと思われる。

4.2. 知識の再構築への反映

本プロジェクトから得た大きい成果の一つは、工学の領域を越えた知識の体系化の仕組みとその方法論が提案されたことである。Figure 1 のように工学領域別に整理されてきた工学知識は、これからは Figure 6 のように意味ネットワークで表現される。その結果、知識間の新しい経路や新しい知識の生成予測が期待される。Figure 6 のアーキは知識間の関連で、今回の作業で明確になったネットワークである。これからは、10 万個の工学キーワードを使って、世界規模で作業して、その成果を知識品質の評価やネット上での知識のグローバル調達システムの構築

などに反映する予定である。ここで、知識の再構築をするために世界的な知識調達システムを予想すると以下のような仮説が考えられる。例えば、いわゆる専門家が持つ知識の深さと幅は世界的に同じであるか。ある知識から関連される知識は世界中の専門家に同じであるか。知識のハードな分類とソフトな分類は世界中の専門家に同じくできるか。専門家がもつ知識の幅と深さは学力と経験だけによるものか。もし、仮説検証結果、知識の幅と深さが世界のどこの専門家でも同じだとしたら、知識のグローバル調達にはどんな問題があるのか。もし特定知識の幅と深さが地域によって違う場合は、知識のグローバル調達のためには何が必要か。

4.3. 仮想組織のネットワーク上運営

異なる経営資源を持つ複数の会社を仮想的にネットワーク上に組織化して、必要な経営活動を行う仮想組織の概念は幅広く認識されている。しかし、知識に関する仮想組織を国際的に運営する場合は幾つかの問題点がある。例えば、言語の問題がある。専門分野が違ふと使う専門用語が違ふ。国籍や国が違ふと普段使う自然言語が違ふ。このような人々が世界中に分散され存在する時、これらをどのように組織化して、与えられた目標を達成するか。この問題は、特に全世界がインターネットで連結された現在には、非常に重要な課題であるが、いままで決定的な方法論はなかった。それで、本プロジェクトでは、その目標を達成する方法論として、仮想組織による集合天才の作り方を試した。その結果、国際的な研究者ネットワークを仮想組織化することができ、また全世界から知識を調達するためのシステムやその戦略について大変貴重なヒントを得た。これからの仮想組織のネットワーク上の運営に積極的に反映する予定である。

5. 参加企業及び機関

本プロジェクトの実施にあたり、工学知識間の認知的距離の測定を含めた広い分野で以下の機関に属する研究者達からの協力を得た。ここで深く感謝する。

東京工業大学、東京大学、産業技術総合研究所、韓国科学技術院、中国清華大学、Cambridge University、Oxford University、ルマニア Galati University、ハンガリー科学アカデミー、オランダ Bruel & Kjaer Sound & Vibration、ドイツ TRW、Stanford University、University of Southern California、Georgia Institute of Technology、India Institute of Technology

[契約件名] 研究情報システム構築のための知的資源の独自分類と検索システムの開発

6. 参考文献

[1] Aoki, M.: Organization and Information of the Japanese Firm. Toyo Keizai, Inc., Tokyo, Japan. (1989).

[2] Branscomb, L. and Kodama, F.: Japanese Innovation Strategy: Technical Support for Business Visions. University Press of America, Inc., Maryland, USA. (1993).

[3] EAAJ: Plant Data Warehouse Development Project.

Research Report to Engineering Advancement Association of Japan. Tokyo, Japan. (2000)

[4] Fowler, J.: STEP for Data Management. Technology Appraisals, USA. (1995).

[5] Krugman, P.: Technology and International Competition: A Historical Perspective. Linking Trade and Technology Policies. National Academy of Engineering, Washington, USA. (1992).

[6] Mahesh, A. and Hartman, S.: Acquiring Business Information from Web Communities. CD ROM of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology. Vol-2. Portland State University, USA. (2000).

[7] OECD: Technology, Productivity and Job Creation: Best Policy Practices. Organisation for Economic Co-operation and Development Publications, Paris, France. (1998).

[8] Von Krogh, G., Ichijo, K. and Nonaka, I.: Enabling Knowledge Creation: How to unlock the Mystery of Tacit Knowledge and release the Power of Innovation. Oxford University Press, Inc., NY, USA. (2000).

[9] Westney, D.: Multinational Enterprises and Cross-Border Knowledge Creation. Knowledge Emergence: Social, Technical, and Evolutionary Dimensions of Knowledge Creation (Ed.: Nonaka, I. and Nishiguchi, T.). Oxford University Press, NY, USA, pp.147-175. (2001).

[10] Yoon, T. and Naka, Y.: A Data Driven Approach for the Concurrent Modeling of a Facility and its Design Intent, Proceeding of JSPS International Workshop on Safety Assured Operation and Concurrent Engineering. Dec. 23-24. Yokohama, Japan. (2000).

[11] Yoon, T., Fujisue, K., Matsushima, K., Izumida, H. and Ishiguro, N.: Characteristics of the Information Infrastructure for realizing the Knowledge based Country – A Case of the strategic Project in Japan. Proceedings of the 6th International Conference on Industrial Engineering – Theory, Applications and Practice. San Francisco, CA, USA, Nov. 18-20. (2001).

[12] Yoon, T., Fujisue, K., Matsushima, K. and Takada, Y.: Knowledge re-construction and knowledge community: the first step for realizing the knowledge based country. Submitted to the 11th International Conference on Management of Technology, Florida, USA, March 10-14. (2002).