

知識・技術・技能の伝承支援に関する考察

-言語化と表現化からの関係-

Consideration of knowledge, technology and skill succession

樽田 泰宜^{1,2*}

Yasuyoshi Taruta^{1,2}

¹日本原子力研究開発機構 バックエンド研究開発部門

¹Sector of Decommissioning and Radioactive Wastes Management, Japan Atomic Energy Agency

²福井大学 附属国際原子力工学研究所

²Research Institute of Nuclear Engineering, University of Fukui

要旨：知識・技術・技能の伝承支援研究会（SIG-KST）は2007年に人工知能学会第2種研究会として設立され、これまで160編ほどの報告が為されている。これに対して古川はSIG-KSTでの研究報告を研究対象として、視覚的な語彙を用いた記述からその研究領域を体系化している。本研究では、この既存モデルを発展させた知識等の伝承とそのプロセスに関する新しいモデルを提案する。

1. 緒言

知識・技術・技能の伝承支援研究会（SIG-KST）は2007年に人工知能学会第2種研究会として設立され、これまで160編ほどの報告が為されている。これに対して古川はSIG-KSTでの研究報告を研究対象として、それを視覚的な語彙を用いて記述し体系化している[1, 2, 3]。これらの報告からはSIG-KSTが対象とする「知識・技術・技能」は、どのような視点で捉えられるのかという認識部分の議論の必要性に言及している。さらに、今後の課題には暗黙知や形式知の各々の関係や類型化の精度を高める点が重要であると指摘している[3]。この取り組みは、SIG-KST研究を俯瞰した議論するための基礎を作るという功績を為しているが、知識・技術・技能等と暗黙知や形式知の関係に関してさらに議論を深めるべき点も残されている。例えば、対象を観測してモデル化するという過程は、その特徴を写像していると考えられる。その際にロバストなモデルが作られるが、観測者は観測対象から十分に情報や知識を引き出して写像しているのかといった課題も考えられる。古川もこの点は認識しており「・・・文章で記述されていれば形式と考えがちだが、その文章だけでは伝達できない不完全または曖昧な内容は外されるべきであろう」と述べている[3]。ポラン

ニーによると身体知や暗黙知を観測する場合、観測者は外在化されている部分を認識している[4]。つまり、観測者は、暗黙知の所有者の近位項（または近接項）ではなく観測可能な外に現れている部分である遠位項（または遠隔項）として認識しているのである。つまり、その知識は正確に転写・移転されているとは限らない。ポランニーの暗黙知等の研究は野中・竹内のSECIモデルという知識等の伝承研究でも重要な理論にも引用されている[5, 6]。この研究で、彼らは創造的な知識の流れについて暗黙知と形式知の変換過程を理論的に説明している。そこで本研究では、これらの理論研究を参照すると共に、知識・技術・技能の伝承を支援することを目的に、体系的な概念の構築を発展させ、言語と表現の視点から新しい認識モデルを提案する。

2. 知識・技術・技能の伝承の既存モデル

2.1 暗黙知と形式知と技術と技能

1960年代、マイケル・ポランニー（Michael Polanyi）は、“we can know more than we can tell”（我々は語る以上のことを知っている）という有名な言葉と共に、暗黙知に言及した[7, 8, 9]。ポランニーは、我々が語ることのできない属人的な知識を暗

黙知 (tacit knowledge) と呼んだ。身体的な知識も暗黙知である。一方、文章や言語で語ることでできる知識は形式知(explicit knowledge)と呼ぶ。「知識」の背景にある「知る」ということも重要で、ポランニーは著書の中で「知っている・知る」(knowing)にも言及している。「知る」には言外に二つのものが意図される[10, 11]。ギルバート・ライルのいう“knowing-how”と“knowing-that”である。“knowing-how”はノウハウとして、どうするかを知っているということである。手続き的、遂行的知識やその方法でもある。“knowing-that”は対象を知っている、事実的な知識である。こうした点は認知や認識に関わる。ポランニーは、「ある対象の外形を認識するとき、私たちは感知している個々の特徴を、それが何とは特定できていないままに、統合している」のだという。形態(ゲシュタルト)は認識を求める過程で、能動的に経験を形成しようとする結果として生起するものとしている。例えば、人間が人間の顔を見分けるのはごく自然に行われているが、性別の無意識的な判断は暗黙的であり、うまく説明することはできない。画像認識等の技術に関しては、人間の暗黙的な認知の過程を説明することはその研究の目的ではない。

他方、森は技能伝承の必要性に迫られている要因として、熟年労働者の高齢化、生産拠点の海外進出を指摘し、「技」を技術と技能の側面から整理している[12, 13]。「技術」は方法や手段であり、「技能」は行為や能力であるという。また、技術は流通が容易であり客観的なものによって伝播するのに対し、技能は流通が困難で人間を通じて伝承するとしている。例えば、技術に関する映像記録を保存しても、そこからカンやコツといったものを流通させるのは困難であると述べている。森の定義は、技術は形式知であり、技能は暗黙知であると捉えることができる。

2.2 類型化とモデル化

これまでの知識・技術・技能の伝承(以下知識等の伝承)の提案モデルに関して SIG-KST では、古川による第1回から第23回までの115件の既報を基にした類型化が行われている。既報1件につき、1項目の内容を表す分類コードを割り振り、分類することで5点に類型化している。[2, 3]。

(1) 事実の記録と提示: 間接的な知識の提示は時間的・空間的に離れて存在する人が映像等で間接的に知識を獲得できるもの、

(2) 知識の蓄積と提示は明示的に表現できる知識等を蓄積して提示するもの、

(3) 知識の利用: システム化(自動化)は蓄積された知識を直接的に利用するシステムの実現、

(4) 技能の可視化: 間接的な技能の提示は(本来表現が難しい)技能を何らかの指標を用いて計測し可視化するなど別の表現で間接的に提示するもの、

(5) 技能の技術化: 明示的な表現への変換は教材などのように(本来表現が難しい)技能を再現可能な形式へと変換するものである。

この類型化は単一で実現されるものではなく、複数が組み合わせて実現される場合もあるという。さらに、視覚的な語彙を用いて SIG-KST 研究を切り取ったモデルを提案している[3]。このモデルは、左側に計測対象となる人、中央にモデル化するコンテンツ(知識、手続き、判断、感覚、動機づけなど)、右側には出力としてシステム化や体系化された知識などを人に伝達するものである。

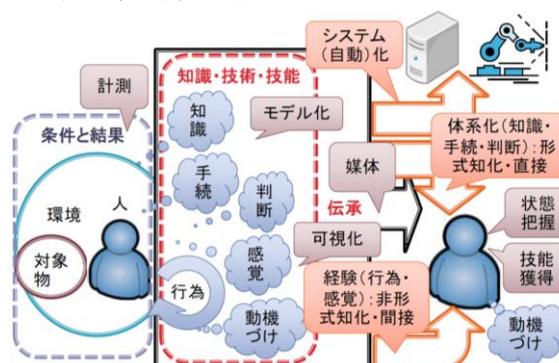


Figure 1 視覚的語彙を用いたモデル [2]

例えば、図左の計測対象の人を仮定し、ある熟練者や技能者の場合、任意の作業・業務・問題解決等の実施時には対象物や環境影響(環境が人に与える、または人が環境に与える影響)が発生する。これらは相互に影響を与える要素である。図中央の伝承する対象である「知識・技術・技能」は、知識・手続・判断・感覚・行為・動機づけ等で構成される。伝承する方法は2つに大分され、明示的に表現できる知識・手続・判断などについては整理して後に直接伝承し、明示的に表現できない行為や感覚などについては他の表現方法を用いた間接的な方法となる。これらを実現に「知識・技術・技能」の計測やモデル

化, 表現を伝えるための媒体として計算機の利用が考えられる. 最終的な伝承には図中右側の人が技能等を獲得した状態であるとするモデルである.

2.3 知識・技術・技能の構成

視覚的な語彙を用いたモデルとは別に, 知識・技術・技能の構成として次のモデルが提案されている.

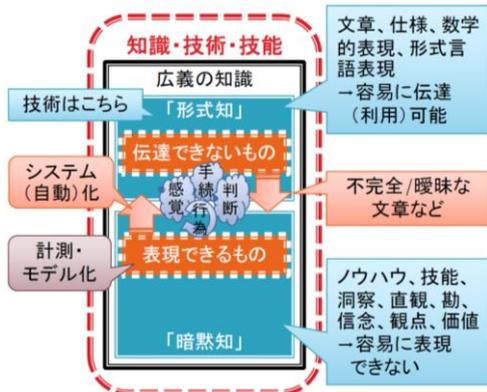


Figure 2 知識・技術・技能の構成 [3]

これは, ポランニーに関する知識の定義を参照しながら SIG-KST での位置づけを示している. 広義の知識として形式知には, 技術, 文章, 仕様, 数学的表現, 形式言語表現などがあり, これらは容易に伝達 (利用) 可能であるとする. 暗黙知には, ノウハウ, 技能, 洞察, 直感, 観, 信念, 観点, 価値があり, これらは容易に表現できないものとする. また, 伝達可能なものを形式知, 表現できないものを暗黙知としている.

3. 知識・技術・技能の伝承の新規モデル

3.1 知識・技術・技能の伝承研究フロー

視覚的語彙モデルや SIG-KST の対象とする知識等の伝承研究の理解を助けるものである. 理解の促進や研究発展には多面的なモデルを提示し, 研究の議論を深めることも大切である. そこで, 研究のフローを明示化すること検討する. さらに, 知識等の構成モデルは形式知と暗黙知の境界をその特徴のため不明確に扱っていたが, これをより明示化して議論する. そこで本研究では, 視覚的語彙モデルを伝承研究フローへと発展させ, 知識等の構成モデルを二軸モデルとして新しく表現する.

視覚的語彙モデルは, 視覚的にも俯瞰して認識を助け, 概念的な理解を助ける. ここでは知識・技術・技能の伝承研究の新しい視座として, 既存の視覚的語彙モデルを基に各要素を体系化し, そのタイトルと内容を表として示す (表 1). また, 研究の裾野を広げ, 新しく知識等の伝承での研究を始める際の研究ガイドとしての活用も射程に含む. 例えば, 新規で伝承研究を始める際には, 知識等の伝達やそのプロセスを理解すること, 研究方法やアプローチ, 定義や概念に関するの考察も重要である. 言語化や文字化できるものは伝達が比較的容易であるが, それらができないもの, つまり暗黙的なものは伝達が困難だからである.

Table 1 知識・技術・技能の伝承研究フロー

系 (System) 環境設定範囲 (システムバウンダリー)	測定対象 (What)	行為 (How)	アウトプット
「知識・技術・技能」 独立・従属 人間タスク もの・ことタスク 従属・独立 外的因子 (環境状況・文脈)	明示的 知識・情報 手続き 状態 判断結果 意思決定結果 非明示的 感覚・価値 動機・根拠 行動 プロセス (経験)	抽象化・一般化 モデリング 蓄積 (DB) 可視化 映像・写真 数値 音 (波形) 測定方法 定量・定性測定 直接観察・間接観察 写真・ビデオ・音声 計測機器など利用	表現形態 システム化 (計算機) 概念化 (理論) (類型化) (体系化) 還元対象 計算機 人間
*タスク 作業・業務 問題・課題解決			

この表では, 何を対象にするのかをより明確に定義するため研究対象の系 (システム) や環境設定範囲を規定する. それぞれの行には, 測定対象として何を測定するのか, どういった行為をどのように行うのか, 結果はどういったアウトプットを得るのか, 出力するのか, を示す. 最初の列には, 知識・技術・技能の伝承が対象とする人間タスク, 「ものこと」タスク, 外的な因子がある. 主従関係やファクターは研究に依存する. ここでいうタスクとは, 行為であり作業・業務・問題・課題解決などが含まれる.

測定対象は明示的と非明示的の 2 点が考えられる. 明示的な対象には, 知識 (情報), 手続き, 状態, 判断 (とその結果), 意思 (とその決定結果) などが含まれ, 非明示的な対象には感覚や価値, 動機や (判断した) 根拠, 行動やプロセスが含まれる. 行動やプロセスは, 言語や文章の形式として表出化できるが, それ自体は非明示的 (暗黙的) であると捉えた. ここには近位項と遠位項の関係がある. 属人的な経験は, 明示的に表現も可能であるがここでは議論の保留として () にて示している. 測定対象に対する行為としては, 抽象化・一般化, モデル化・モデリング, 蓄積・データベース化, 可視化などがある.

いずれも同じような概念であるが、具体的な言葉で複数提示することで分かりやすさを優先した。例えば、可視化には、映像や写真、数値での表現・定式化、音声を波形にしたものがある。音声の波形化は周波数等で数値的に表現されるものであるが、単なる数値化より、音（波形）と表現し、具体事例と視覚的なわかりやすさを優先した。映像や写真も同様である。行為の下には測定方法を列挙している。行為そのものを行為者の視点で抽象化したものである。測定方法には定量的な方法と定性的な方法という一般的な表現を用いた。さらに、観察して情報やデータを得るには直接的な観察と間接的な観察として区別した。直接観察には、写真、ビデオ、音声の収集や社会的調査手法のヒアリングやアンケートも考えられる。今回は既存の視覚的語彙モデルの発展であり、各用語の評価は今後の課題でもある。計測機器などの利用では、音声や映像以外にも身体的な動きをモーションキャプチャーで捉えたり、脳波を測定したりなども考えられる。最終的なアウトプットでは、表現形態として計算機上での表現や概念化や体系化等が検討される。また、表現結果は、成果を利用したり応用したりと、人間や計算機等に還元することもある。例えば、汎用性のあるシステムやプログラミング、教育資料や技術標準化での還元は、その一例といえる。

Table 2 SIG-KST-2012-03-06 の記述例

系 (System) 環境設定範囲 (システムバウンダリー)	測定対象 (What)	行為 (How)	アウトプット
「知識・技術・技能」 独立・従属 人間タスク もの・ことタスク 従属・独立 外的因子 (環境状況・文脈) *タスク 作業・業務 問題・課題解決	明示的 知識・情報 手続き 状態 判断結果 意思決定結果 非明示的 感覚・価値 動機・根拠 行動 プロセス (経験)	抽象化・一般化 モデリング 蓄積 (DB) 可視化 映像・写真 数値 音 (波形) 測定方法 定量・定性測定 直接観察 間接観察 写真・ビデオ・音声 計測機器など利用	表現形態 システム化 (計算機) 概念化 (理論) (類型化) (体系化) 還元対象 計測機 人間

3.2 伝承フロー記述例

本研究でも先行研究に習い、ここでは 3.1 で示した伝承研究フローの具体例について簡単に述べる。なお、研究著者は自信の理解に基づいて解釈した内容を論旨として記述していると考えられるが、必ずしも著者の同意を得て記述例を作成したわけではない。

最初に、石川らの研究は、子育ての知識について映像などを利用して継続的に蓄積して提示するシス

テムの提案である[14]。詳細は原著を参照していただきたいが、対象の系は人間タスク、測定対象は知識、手続き判断結果をメインに、研究行為として直接観察を行い可視化する。それをデータベース (DB) にデータを蓄積しシステム化を図る研究である。さらに、研究成果は人間に還元されると捉えた (表 2)。

榎垣らの研究は、技能の計測と評価の研究である [15]。ヤスリがけの技能 (タスク) をセンサで計測し、モデル化・可視化している。これも人間タスク、手続き、判断結果、感覚を対象に計測器を使い直接的 (または間接的) に観測し、人間行為の体系化を図るものであると考えられる (表 3)。

Table 3 SIG-KST-2011-03-05 の記述例

系 (System) 環境設定範囲 (システムバウンダリー)	測定対象 (What)	行為 (How)	アウトプット
「知識・技術・技能」 独立・従属 人間タスク もの・ことタスク 従属・独立 外的因子 (環境状況・文脈) *タスク 作業・業務 問題・課題解決	明示的 知識・情報 手続き 状態 判断結果 意思決定結果 非明示的 感覚・価値 動機・根拠 行動 プロセス (経験)	抽象化・一般化 モデリング 蓄積 (DB) 可視化 映像・写真 数値 音 (波形) 測定方法 定量・定性測定 直接観察 間接観察 写真・ビデオ・音声 計測機器など利用	表現形態 システム化 (計算機) 概念化 (理論) (類型化) (体系化) 還元対象 計測機 人間

3.3 知識・技術・技能の新しい構成モデル

次に新しい構成モデルについて考える。これまでのモデルは、暗黙知と形式知の境界領域の曖昧性に依存した一方向の表現形態をとっていた。本研究では、暗黙知の原義ではポランニーも暗黙知を言語化できない知識を採択し、曖昧な部分を排除したモデルを考える。これは、境界領域を“可能・不可能”・“できる・できない”と捉えなおす。よくあるミスリーディングとして、「言語化していない知識」は、「言語化できない知識」とは異なり、単に外に表現、表出されていないだけである[16]。それらは暗黙知ではなく言語化・表出化・表現化されていない形式知である。そこで、言語化と表現化という二つの要素に対して可能・不可能の軸で知識・技術・技能の構成を二次元平面の直交座標で捉え直した概念を考える。ただし、形式知の背後には多くの暗黙知があり、暗黙知と形式知は対立するものではない。相互補完的な関係にある [5,6]。

第一象限は「言語化できる」「表現できる」ものである。ここは形式知や潜在知が付置される。形式知は、文章、仕様、音、波形、数値、温度、湿度、重力

など表現可能で、言語化・文章化もできるものが対象である。技術もここに付置される。潜在知とは、言語化や表現化・表出化していない知識のことを指す用語として新しく定義した。

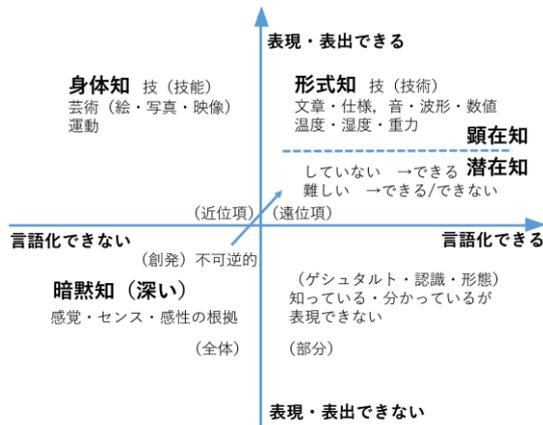


Figure 3 知の表現モデル

第二象限は身体知や技でも技能が対象である。芸術や運動と言った身体的な知識や認知能力を使用するものが付置される。暗黙知のよくある例では自転車の乗り方といった身体的な知識がある。つまり、身体知は暗黙知の一つの表現である。

第三象限は、言語化も表出化もできない「深い」暗黙知と呼ぶべきものが付置される。人の感覚やセンス、感性の根拠である。例えば、五感に関するものは数値化できるが、それをおいしい、美しい、いい匂い、赤色に見えるなどそのように感じる根拠である。相対的には語ることはできるが、指標は表出化が不可能で、共有も互いの言葉を信じるしかない。

第四象限は、形態とも呼ぶべき認知に関するものが付置されると考えられる。通常、逐行的言語のように言語化ができれば表現や表出化は可能であると考えられるが、逆の事例を見つけることはできない。しかし、人の顔の認知やその判断など知っている・分かっているが表現できないものがあると考えられる。つまり、部分を認識したり理解したり表現することはできる。目や鼻や口の位置である。しかし、全体としてそれを認識し、人間の顔、男性、女性であるという判断の結果と根拠は、表現できなくなり、深い暗黙知へと移行すると考えられる。これは、全体は単なる部分の寄せ集めではなくそれ以上であるという創発に関する説明とも関係する。この点は、さらに議論を深める必要があるが、この考えを正しいとするならば創発は、第三象限から第一象限への

知識の変換過程の一つであるといえる。

ここで、同モデルで伝承を捉え直す。これまでの研究を概観すると知識・技術・技能の伝承は、各象限から第一象限へと知識を変換することが対象の一つであり、第一象限内でも潜在化している潜在知を顕在化する点も伝承プロセスの一つである。

伝承プロセスの研究課題には、(a)情報や知識を引き出す点、(b)それを長期的かつ効率的な保存をすること、さらにその時の利便性やユーザビリティも考慮する点、(c)保存された知識等を利用する点に代別できる。属人的であったり、局所的に保存や潜在化していたりする場合は、それらを明示化することがまずは必要である。これが(a)の研究課題にあたる。(b)は情報科学の得意とする領域で、DB や知識工学など様々な先進知見が利用できる。(c)は、一般化や成果の応用である。汎用システムや方法、マニュアル、テキスト、教材、工作機械へのベテラン技術のプログラミング化など様々な利用形態が考えられる。一方、技能は、第二象限から第一象限に変換し、さらに、利用時に第一象限から第二象限へと知識を伝達することが必要となる場合がある。また、身体知や技能などを形式知等に変換せずに、伝承教育として On the Job Training: OJT や Off the Job Training: OffJT の利用も考えられる。

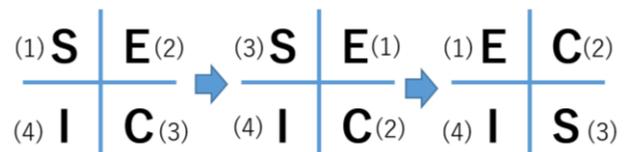


Figure 4 知識・技術・技能の伝承モデル

4. 知識等の伝承プロセスの議論

新しく提案した知の表現モデルから知識等の伝承を考えた場合に、従来の SECI モデルを参考にした知識等の伝承、継承や変換の理論ではなく、新たな伝承形態が必要である。3.3 で指摘したように、最初に、潜在知・身体知・技能などを形式的な表現として表出化 (Externalization) する必要がある。そして、対象から得られた知識以外の知見も合わせて一つの新しい知識へと連結化 (Combination) する過程がある。それを得て他者が利用できる形態へと変換する。これは共同化 (Socialization) または、一般化、モデル化、類型化・体系化という広く利用可能

な公共財的 (public knowledge) な知への変換である。最後に、利用した後に個人が再度、新たな暗黙知を獲得し内面化 (Internalization) する。これらが新しい知識等の伝承プロセスである。SECI モデルの創造過程を参考に、知識等の伝承プロセスを捉え直すと ECSI または ECS/PI となる。

5. 結言

本研究では、既存の知識・技術・技能の伝承に関するモデルを発展させることを目的とし、新しいモデルを提案した。ここで用いた用語や表現に関してはさらなる考察と議論が必要であるものの、これまでの SECI モデルの創造の流れに変わるような知識や伝承に関わるモデルを提示できた点は新しい。SECI モデルは様々な分野で応用され実践されているが、本質は組織・集団の知識創造過程を示した点にある。そして、これまで不確かであった知の創造過程、変換プロセスを理論化した点に大きな貢献がある。こうした点からは、知の創造・変換の参考にはなるが、そのためには野中らも指摘する「よい場」を作るなど臨機応変な対応が必要である。伝承という文脈では、チームや集団、二者間で知識を内在する (dwell in) ことが何より重要である。内在化する場合には、システム科学や知識科学、知識マネジメントといった分野の視点も必要である。そのため、知識等の伝承は多様な科学の知を統合も必要な領域であるといえる。

最後に、本研究では知識等の継承の伝承研究に関して既存のモデルを発展的に捉え直すことができた。しかし、今回提示したモデルは十分に議論がされ尽くしているとはいえない。研究の限界として具体的な方法に関しても言及できていない。また、継承の劣化やロス (いわゆる knowledge loss) といった課題も残されている。今後は、こうした点も研究を深めると共に伝承研究に関して考察を深めてく。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 (JP17H07354) の助成を受けたものである。

参考文献

[1] 古川慈之, 2014, "知識・技術・技能の伝承支援に関

する考察," 知識・技術・技能の伝承支援研究会, 22, SIG-KST-2014-01-04

[2] 古川慈之, 2014, "知識・技術・技能の伝承支援に関する考察—SIG-KST 講演内容の分類—," 知識・技術・技能の伝承支援研究会, 23, SIG-KST-2014-02-04

[3] 古川慈之, 2015, "知識・技術・技能の伝承支援に関する考察—暗黙知と形式知との関係—," 知識・技術・技能の伝承支援研究会, 24, SIG-KST-2014-03-03

[4] Polanyi, M., 1958, "Personal Knowledge: Towards a Post-Critical Philosophy", University of Chicago Press, Chicago

[5] Nonaka, I., Takeuchi, H., 1995, "The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation", Oxford university press

[6] 野中郁次郎, 竹内弘高, 1996, 知識創造企業, 東洋経済新報社

[7] Polanyi, M., 1962, "Personal knowledge: Towards a post-critical philosophy", University of Chicago Press

[8] Polanyi, M., 1966, "The tacit dimension", University of Chicago press

[9] マイケル・ポランニー, 佐藤敬三, 1980, "暗黙知の次元," 紀伊國屋書店

[10] Ryle, G., 1949, "The concept of mind," Hutchinson, London

[11] ギルバート・ライル, 坂下百大, 宮下治子, 服部裕幸, 1987, "心の概念," みすず書房

[12] 森和夫, 1996, "「技能」と「技術」に関する 93 人の定義," 技能と技術誌, 2, 59-64

[13] 森和夫, 2005, "技術・技能伝承ハンドブック," JIPM ソリューション

[14] 石川翔吾, 桐山伸也, 竹林洋一, 2013, "子どもの発達理解と子育て支援—マルチモーダル行動発達事典の構築と利用—," 知識・技術・技能の伝承支援研究会, 18, SIG-KST-2012-03-06

[15] 榎堀優, 間瀬健二, 2012, "ウェアラブル加速度・角速度センサを用いたヤスリがけ技能評価の検討," 知識・技術・技能の伝承支援研究会, 15, SIG-KST-2011-03-05

[16] 大西幹弘, 2007, "暗黙知とは何か(1)," 日本ナレッジ・マネジメント学会東海部会季報, 3, 1-7

連絡先: 〒914-8510 福井県敦賀市名神町 3 番地

日本原子力研究開発機構バックエンド研究開発部門原子炉廃止措置研究開発センター

E-mail : taruta.yasuyoshi@jaea.go.jp