

# スキルトロニクスな道具

## Skil-tronics Props

西野順二<sup>1\*</sup>

Junji NISHINO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 電気通信大学システム工学科

<sup>1</sup> Dept. Systems Engineering, The University of Electro-Communications

**Abstract:** A novel tools design method skil-tronics was proposed in this paper. When we perform some objectives, we use tools and our skill to handle them. We also make new tools in some case, based on high-technology. Skil-tronics require us a well trained skill to handle the new tool. This skill assumption makes tools more simple, inexpensive and robust.

## 1 はじめに

本稿では、人間と機械の関係の新たな視点として、「スキルトロニクス: skil-tronics」という概念を提案する。また、すでにスキルトロニクスな道具として存在するモノを例にあげて思考実験による分析と考察を行う。

近年、メカトロニクスの進歩により、産業界はもとより日常生活においても、高度でインテリジェントな各種の人工物が利用され、また不可欠なものとなっている。携帯電話、コンピュータ、ロボット、自動車、自動販売機から腕時計に至るまで、さまざまな「道具」が作られている。

こうした道具の設計にあたって、最近ではヒトに優しいをキーワードとしてヒューマンインタラクションの研究結果が活用されている。ここでの目的は使いやすさであり、多くの場合にはいまそこに居る「普通の」人々にとって使いやすいものを指す。これは機械が人間に歩みよる方向性であり、その基本原理はインテリジェントな機械とその技術、いわゆるメカトロニクスである。

いっぽう、楽器や大工道具など比較的シンプルな技術で作成された道具では、職人と言われる高度な技能を持った人間が操ることによって目的を達成する。こうした身体性や技能については、いわゆるスキルの問題として認知科学や人工知能の分野において、学習問題さらには暗黙知と知能の関わりとして、スキルサイエンス分野での研究が盛んである [生田 87, 古川 05, 古川 07]。

本論文で、スキルトロニクスという語によって提案するのは、人間にも技術にも相応の負担を課す設計思

想である。人間と人工物によって達成される協働の目的効果を設計するにあたり、人間側には現在は無いが「ありうべき」スキルを仮定した上で、それに対応して人工物を設計するという姿勢である。すなわち「ヒトにやさしくくない>」設計モデルを提案する。実際の現場においても、多くの場合には無意識的にこうしたスキルと技術の折り合い設計が行われてきた。本稿ではこれを意識的に行うためのツールとして ST ダイアグラムを導入して効果を検討する。

## 2 スキルトロニクス

「スキルトロニクス」は主体要素として人間を置き、スキルサイエンスとメカトロニクスを合成した語である。この、スキルサイエンス (AI) x メカトロニクス x 人間という三者関係を図式的に表せば、図 1 のようになる。スキルサイエンスと人間をつなぐのは人間の探求を主とした認知科学研究である。人間とメカトロニクスの間はヒューマンセンタードシステムの構築であり、スキルサイエンスとメカトロニクスはアフォーダンスによって結びつけられる。

### 2.1 ヒューマンインタフェース研究との比較

人工物設計としてのヒューマンインタフェース研究が目指すものは、より多くの人がより快適に負担なくかつ効率良く使える設計であり、人に優しいというキーワードで表されることが多い。主として機械がインテリジェントになり、人間が行っていた操作以外の作業計画など知的部分までをサポートするようになっている。

しかしながら実際には優しくしすぎて人と人工物の

\*連絡先: 電気通信大学システム工学科  
〒182-8585 調布市調布ヶ丘 1-5-1  
E-mail: nishino@se.uec.ac.jp

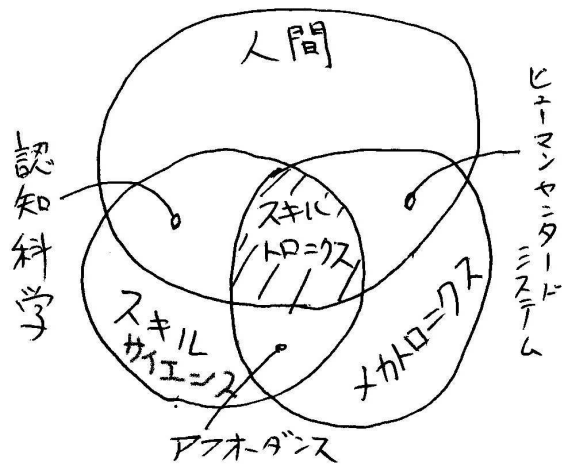


図 1: スキルトロニクスの位置付け

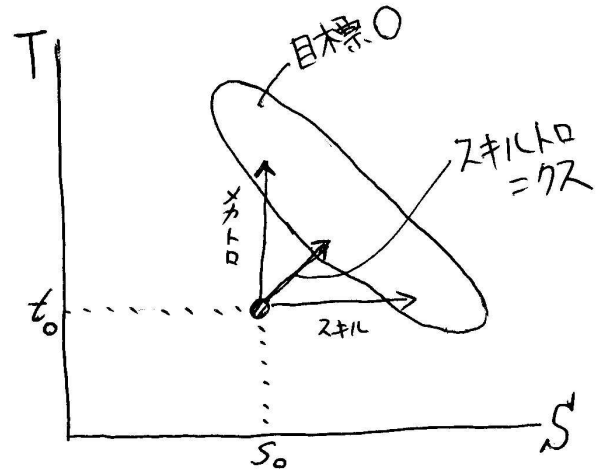


図 2: ST 平面

協業パフォーマンスが想定以上に低下したり、設計者の意図に反して使いにくいという現象がしばしば発生する。とくにパニック時には、機械と人間の思惑が矛盾することで失敗することも多く、航空機事故などにもそうした例が見られる [加藤 08]。そもそも、インテリジェントな道具であっても、使用者が十分に熟練することで使いこなせているという現実もある。

スキルトロニクスが目指すものは、技術から人に単に歩み寄るのではない点で従来と異なる。まず、人がどこまでできるかを明らかにし、そのうえで人にどこまでさせるかを設計し、同時に目標とする協業パフォーマンスから機器を設計する。スキルの設計も含むことがスキルトロニクスデザインの特徴である。

## 2.2 アフォーダンスとの関係

道具や技術の持つ意味は、しばしば設計意図を逸脱し超えることがある。物体が持つ形態や機能が各ユーザにとってどのように認知され使用されるかという視点がアフォーダンスである [佐々木 94]。アフォーダンスを意識したデザインとは、スキルを含んだ認知体としての現存する個々人の個性と物体とのかかわりを積極的に設計することである。

いっぽうスキルトロニクスが対象とするのは、現状の個人ではなく、ありうべきスキルを持ったと仮定した個人である。スキルの設定を未来に進めて変えたアフォーダンスに基づくデザインと言えるかもしれない。

## 2.3 スキルサイエンスの役割

スキルトロニクスなデザインを行うには、まず対象となる人間のスキル設計が必要である。個人のスキル

のモデル化や、学習者のスキル獲得過程のモデル化などは暗黙知の研究とあいまってスキルサイエンスとして近年活発に進められている。

スキル設計は、現在の対象者はまだ獲得していないかもしれないスキルレベルを仮定することである。こうした事象は楽器や大工道具などメカトロニクスでない道具を用いるときの学習目標モデルと類似している。

しかしながら、スキルトロニクスにおけるスキル設計では同時に人工物の設計も行っているため、両者の適切なバランスを取ることが重要であり、また逆にバランスの加減を操作できる自由度があるとも言える。この両者の自由度の設計が本概念で最重要な部分である。

## 3 ST ダイアグラム分析

人の技能と人工物の技術をそれぞれ、スキル ( $s$ ) とテクノロジー ( $t$ ) と表すことにする。人と人工物からなるシステムの協業パフォーマンスを  $p$  とすれば、 $p = f(s, t)$  なる関係を考えることができる。

このとき、スキル軸  $S$  とテクノロジー軸  $T$  とがなす平面で、スキルトロニクスな人工物のデザインを考える。なお  $f(s, t)$  は便宜的な表現であり、そこには連続性や有界性、そもそも写像であることなどを一般には期待できないことを注意しておく。

### 3.1 ST ダイアグラム

ST ダイアグラムは、図2に示したスキル軸  $S$  とテクノロジー軸  $T$  とがなす平面図である。

人工物の設計開始時点での、人間スキルレベルを  $s_0$ 、人工物のテクノロジーレベルを  $t_0$  で表す。目標とする協

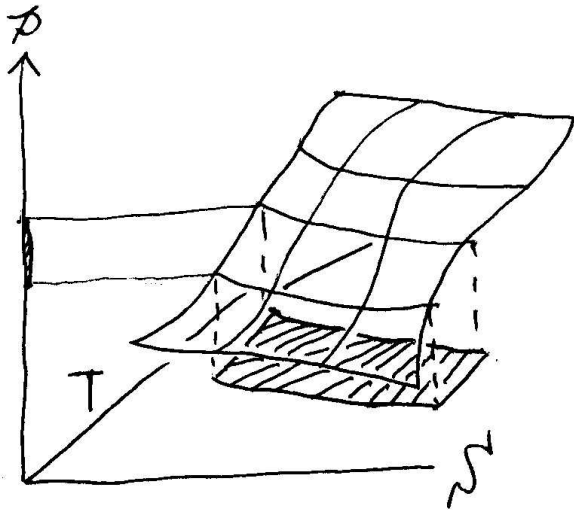


図 3: パフォーマンス曲面、射影、等高線

業パフォーマンスを領域  $O$  として表せば、人工物システムの設計とは、 $(s_0, t_0)$  から、領域  $O$  への移動を促す  $S, T$  の変化分を与えることにほかならない。

従来は、技能熟達つまり  $S$  の増加によって目的達成する方法 (右矢印)、メカトロニクスつまり  $T$  の増加によって目的達成する方法 (上矢印) が、無意識のうちに取られていた。

スキルトロニクスデザインは、 $S, T$  の両者を同時に増加させることであり (斜め矢印)、技能と技術の両者ともに比較的少ない負担で目的達成できる可能性を持っている。

### 3.2 目的領域

$ST$  ダイアグラムはスキルとテクノロジーのみだが、実際には  $p = f(s, t)$  の三者関係である。目的パフォーマンスの上下限からなる許容域  $p_{low} \geq p \geq p_{high}$  を満たす  $p$  を仮定すれば、上述した目的領域は許容域の  $ST$  平面への影となる。実際的には  $p$  がスカラー値であるとは限らないが目的を満たす  $p$  の集合の影と考えれば同様である。

連続性などを仮定したとくに簡明な  $ST$  空間とパフォーマンス関数  $p = f(s, t)$  を仮定すれば、目的領域とは図 3 に示すようなパフォーマンス関数の等高線で区切られた領域である。

## 4 パフォーマンス曲面

$ST-p$  の三者関係に局所的な連続性を仮定すると、パフォーマンス曲面は  $STP$  の三次元空間上の二次元多様

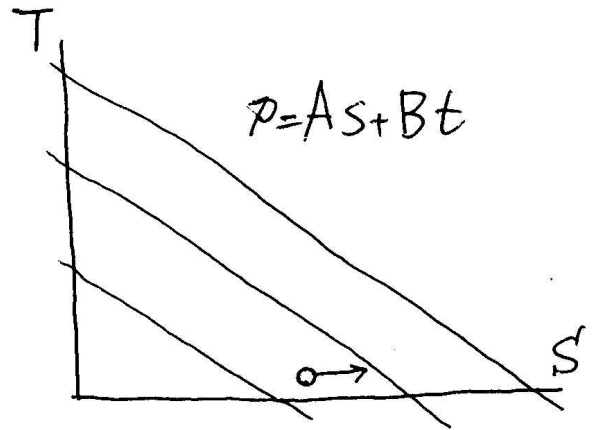


図 4: 加法的パフォーマンス

体と考えることができる。

本節では、代表的なパフォーマンス曲面を示し、その特徴を考察する。

### 4.1 加法的パフォーマンス曲面

適当な定数  $A, B$  によって加法的に  $s, t$  が関係付けられ、式 (1) で表されるパフォーマンスを加法的パフォーマンスと呼ぶことにする。

$$p = f(s, t) = As + Bt \quad (1)$$

スキルが足りなければテクノロジーを足せば良い、というモデルであり、ヒューマンインタラクションや、従来の人間を含むシステム設計の視点である。

特徴として  $s, t$  のいずれかが 0 または 0 に近くても、その分を他方が補うことができる。介護等で用いる運動機能の弱まった人のための各種補助システムはこの特徴を利用している。

### 4.2 乗法的パフォーマンス曲面

$s, t$  が乗法的に結び付けられ、適当な定数  $A$  によって式 (2) で表されるパフォーマンスを乗法的パフォーマンスと呼ぶことにする。

$$p = f(s, t) = Ast \quad (2)$$

加法的パフォーマンスと比較したときの特徴として  $s, t$  のいずれかが 0 に近くなると、その分を他方だけでは補うことができなくなるモデルである。現実の人工物システムモデルはこちらに近く、 $s, t$  両者のバランスの重要性を示している。

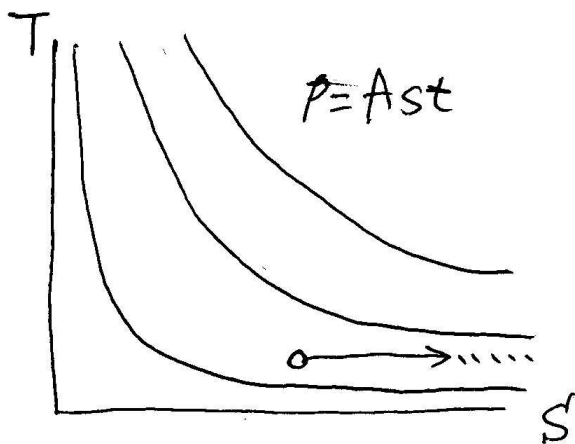


図 5: 乗法的パフォーマンス

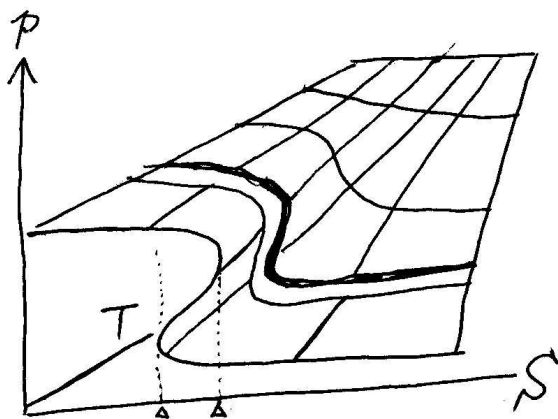


図 6: ST-p 多様体と断面

#### 4.3 多様体モデル

実際の  $s, t, p$  による曲面は ST 平面上に直射したとき多体多になることもありうる。各近傍ではほぼ連続であると仮定すれば、これは ST-p 空間上の二次元多様体と考えることができる。

比較的シンプルな例を図 6 に示す。

ST-p 多様体を、 $s$  か  $t$  いずれかを一定とした切断面を考える。たとえば  $t$  を一定とすれば、スキル変化によって得られるパフォーマンスの変化である。このとき、図 6 のようなヒダがあるとすると、低いスキルからのパフォーマンス向上にはギャップがあることを示している。こうした多様体上の経路と ST 平面への射影による関係は、カタストロフィーの様相を示すこともあり、いったん技術に頼って曲面を変化させることでスキル効果をたかめられるといった特性を説明できる。

#### 4.4 ST の計量

一般にスキルとテクノロジーの計量は困難である。問題によって離散値であったり、スカラーとして表現できない可能性が高い。実際には、使用するカテゴリーや目的領域の設定に応じて個々に軸の設定と計量方法の設定が必要である。

ひとつの方針として、複数のテクノロジー、スキルを点と取れば、それらの一対比較や SD 法による相対化と比較、順序配列は可能である。また単体での量的評価として基本要素項目数、テクノロジーの場合は部品点数や製作工数や信頼度、スキルの場合は運動精度や作業に必要な時間などで測ることも可能である。

### 5 スキルトロニクス評価

ここでは、さまざま道具を対象に、スキルとテクノロジーのバランスおよび設計について検討する。乗物、カメラ、電話、筆記具、閉じ具については、それぞれ既存の道具の思考実験による分析を行う。

ジャグリング用具については、スキルトロニクスを意識した新たな設計を行う。

#### 5.1 ジャグリング用具の設計

ジャグリングとは、ボールなどを繰り返し投げ上げてキャッチすることで行う曲芸演技である。そのうちボールトスは基本的なジャグリング技であり、複数のボールを投げることで行うアクトである。動きなどの綺麗さと面白さの提示を目標として行われる。

スキル、テクノロジー、スキルトロニクスの 3 種類の解決方法をそれぞれ考え、比較した [西野 08]。すなわち、スキル重視ボール、テクノ重視ボール、スキルトロニクスボールの三種類を設計製作する。

設計目標は、ボールトスアクトにおいて、ボールに発光体を組み込んで投げ、空間に光の軌跡を生成することを目指す。たとえば軌跡として、ボールを投げ上げて頂点に達したときにだけ光るような新たなライトボールシステムを作ること考える。

スキル重視ボールで目標を実現するには、ボールに操作可能なスイッチを組み込みボール軌道の最上点ですばやく腕を追従させて操作すればよい。しかし、この場合 3 つ以上のボールを扱うので、他のボールも常にキャッチしなければならない。軌道の頂点で手を出す時間的余裕がほとんどないという困難性があり高度なスキルが要求される。

メカトロニクス重視ボールは、ボールにマイクロプロセッサと速度・位置センサなどを組み込み、頂点部に達したことを検出して自動で明滅させる手法である。

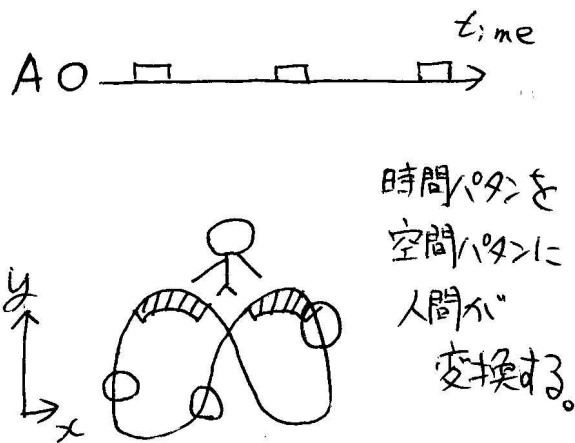


図 7: ボールトスアクトとその設計

これにより人に求められるスキルは、基本的なジャグリング技能だけになり、自動で明滅することで目標軌跡を実現できる。

しかしながら、空中に放出された小型物体の速度と位置を正しく計測することは技術的に困難な問題である。計測系として容易に組み込めるのは加速度センサーであるが、速度と位置を知るには積分が必要で誤差の累積が無視できず、またボール自体の回転の影響もあって正確な測定は現実的とは言えない。外部のモニタリングを行うとなれば、3次元位置測定や通信システムが必要となる。

また、技術による空間に光の軌跡を描く別の解法として、おおきな投影装置を用いる方法もある。この場合はジャグリングとは言えなくなる点に問題がある。

スキルトロニクスボールでの解は次の通りである。以下に示すスキルを仮定すればボールは一定時間間隔で明滅するだけの回路を組込むことで実現できる。

すなわち、図 7 に示すように操作者が一定時間間隔でのボール軌道を実現すれば、時間ボタンを人間が目的にむけて空間的に変換したことと同じであり、目的を達成することができる。

このとき操作者に求められるありうべきスキルは、正確なリズムで空間にボール軌道を描くことのみである。一定リズムでボールを操ることは難しくスキルを必要とするが、スキルボールの頂点軌道での高速なスイッチ等の開閉よりは容易で、実現可能な範囲である。

## 5.2 カメラの分析

フィルムカメラとデジタルカメラは、仕組みが違いすぎて比較が難しい。いっぽう、一眼レフと、コンパクトカメラの比較は、スキルとテクノロジーの加法性が成り立つ比較である。ここで一眼レフと呼ぶのは基

本的に絞りとピントを手動で行うことを指す。(実際には全自動に近いものもある)

コンパクトカメラはテクノロジーによって、絞りとピントを自動調節し、操作に自信のない人でも手軽に撮れることに特徴がある。一眼レフはこれらの操作スキルがないと、ピントの合った写真を撮ることも困難である。しかしスキルによって、被写界深度の制御や、ソフトフォーカスなどの表現が可能となる。これらは、テクノロジーでも実現可能だが、視界内の物体指定や、ソフト度合のこまかな設定など、自動でやるにはかなり難しい問題である。回しやすいピント機構や、シャッタースピードとの自動連係など、部分的には自動化されていることから、一眼レフはスキルトロニクスな道具と考えられる。

## 5.3 乗物の分析

人間が移動するために用いる乗物を考える。靴、スキー、ソリはスキルフルな道具である。使いこなすことでパフォーマンスは上がるが、道具の果たす役割はむしろ小さい。自転車は、スキルトロニクスな道具であり、場合によって乗り手を選ぶ道具といえる。必要とされるスキルは、バランス制御と推力生成である。小回りが効く高い運動性能を持ち、スキルレベルによっては段差の昇降も可能となる。

自家用車も乗り手を選ぶという意味で、ややスキルトロニクスな道具である。基本的な車を仮定すると S 字やクランク走行、幅寄せ、車庫居れなどスキルによって実現している。

動く歩道(エレベータ・エスカレータ)の類は、テクノロジーである。いったん乗ったあとは、機械の指定する行き先にしかゆけず、その間は全自動である。操縦不要の全自動型自家用車もこの部類に入れられよう。

## 5.4 電話

使用に必要なスキルで並べると、電報、公衆電話、モバイル IP フォン、携帯電話、固定電話、の順になる。電報には文面と文字数を調整するスキルが必要である。IP フォンでは、接続可能な位置を探すことが必要であり、そのためのスキルは重要である。

いっぽうテクノロジーで並べると、必ずしもスキルの逆順とならない。電報、固定電話、公衆電話、携帯電話、モバイル IP フォンとなる。基地局の追跡など携帯電話のテクノロジーの方が IP フォンより高いかもしれないが、ともかく無線系システムのほうが、有線より工業的負担は高い。必要スキルと必要テクノロジーの和で考えると、固定電話は非常に効率良いシステムであるといえよう。

## 5.5 筆記具

ペン、筆、鉛筆、クレヨン、についてはまず、きちんと使いこなすまでのスキルが必要である。そして使いこなすことができれば、それぞれ多彩な描線を引き出すことができる。たとえば筆と墨では細太の差やハネ、カスレなどの表現ができ、絵画にも用いることができる。

エアブラシは太さや濃さの調整スキルを、テクノロジーで力から時間に置き換えている。幅広さが筆とは違うものの、基本的に目指す方向は類似している。サインペンでは、筆致の太さの違いを実現するため、両端にペンを付けるという技術が用いられる。スキルを必要とせず、太さのかき分けが可能となるが、中間の自由な太さは描画できない。タイプライタとワープロは、文字を書くことに特化したテクノロジーを持つ筆記具である。文字自体は非常に綺麗に発字可能だが、書体や大きさを変えることが難しい場合がある。

筆記具に共通する性質として、どれもスキル、テクノロジーともに必要とし、その関係が乗法的になっている。テクノロジーの高いワープロであっても、文章を書くためにはタイプは必須である。入力自動予測や編集アシストなども効果はあるが、タイプ速度それ自体はボトルネックである。

## 5.6 閉じ具

服など布物体を閉じ合わせることを考える。スキルの順番に、並べると次のようになる。なし、帯、紐、ボタン、フック、ジッパー、面ファスナー、マグネット、ゴム

「なし」は、服であれば単に巻いただけで留める方法で、ローマ風ケープや東南アジアの巻きスカートがある。留め方のスキルがないと着衣することができない。帯は外部から摩擦を用いて留める道具であるが、基本原理は巻きスカートと同じである。太手の紐を付けた丹前やちゃんちゃんこ形式となると、紐結びができれば閉じることができる。引き解け結びなど使う人を選ぶ。

ボタン付け外しは小児のトレーニングに入っていて、使用頻度が高くかつスキルを要求する閉じ具である。社会的な要請のあるスキルフルな道具の一つである。紐、ボタン、フックなどは、使用者にスキルを強要することで、不必要に高度にならずに目的を達する、スキルトロンクスな閉じ具であると言える。

マグネットやゴムによる閉じ機構は、コツやスキルをほぼ必要としない。ゴムはつまりズボンのウェストゴムなどのことで、広げることができれば、あとは自動的に閉まる。

## 6 おわりに

メカトロニクス技術が進歩し、人間と人工物の協業パフォーマンスは向上している。しかしながら、技術があるがゆえに、人間のスキルを低く見積りすぎて失敗システムとなることがしばしばある。

本稿では、人間にもスキル負担を与えることで、技術もスキルも中庸でありながら協業パフォーマンスが高くなるような設計目標を達成する、という設計手法のスキルトロンクスを提案した。

また、ジャグリングの道具を例にして、その設計の様子を示し、いくつかの道具について、それぞれの要求スキルと、そのテクノロジーについて分析した。

スキルトロンクスなデザイン過程で、定性的な評価を行うため ST 平面を提案した。ST 平面を用いることによって、技術とスキルに関するいくつかの直観的事例を説明できることを示した。さらに、協業効果を  $p$  として、ST- $p$  の 3 変数関係を 2 次元の多様体曲面としてとらえ、それらの切断面を考えることで、目的達成の困難性原因の理解に役立つ可能性を示した。

今後、スキルサイエンスで開発されてきた様々な手法を活かし、定量的に獲得表現する手法を構築すること、実応用に活かしていくこと、が課題である。また、非定型的な  $p$  の曲面を表現する方法を検討する必要がある。

## 参考文献

- [加藤 08] 加藤 寛一郎：まさかの墜落, 大和書房 (2008)
- [古川 05] 古川 康一, 植野 研, ほか：身体知研究の潮流—身体知の解明に向けて, 人工知能学会論文誌, Vol. 20, No. 2, pp. 117–128 (2005)
- [古川 07] 古川 康一：スキルサイエンスの展望, 第 21 回人工知能学会全国大会, pp. 1H3–7 (2007)
- [佐々木 94] 佐々木 正人：アフォーダンス：新しい認知の理論, 岩波書店 (1994)
- [生田 87] 生田 久美子：「わざ」から知る, 東京大学出版会 (1987)
- [西野 07] 西野 順二：このへんファジィ制御, 第 23 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 98–101 (2007)
- [西野 08] 西野 順二：スキルトロンクスな道具のデザイン, 第 22 回人工知能学会全国大会, pp. 1B2–9 (2008)