

【HMD特集】



知覚系の視点から見たHMD

HMDの処方箋～含有成分と使用上の注意

前田太郎

東京大学



今回、人間の知覚の観点からHMDに関して述べて欲しいという要請でこの文章を書いているわけですが、現状のHMDは、というよりVRの現行システムは一般的な意味では「知覚をバーチャル（＝等価的）に置き換える」という段階には全く達していません。「将来、バーチャルにできるかもしれない刺激」を提示している、というのが現状です。これが一部では「VRは技術的には面白いが産業にならない」と陰口をたたかれる一因でもあるでしょう。では実際に絶望的かといえば、むしろ逆で技術的には大変に有望な段階まで来ている。それなのに構成がちぐはぐなためにその実力を出し切れていないのが現在のVRにおける工学技術と構成されたシステムの関係です。では何が原因かといえば現状ではその主役はそろそろ個別の技術的課題よりもそれらを取り扱う産業的課題に移りつつあるようです。

私は人間の知覚-運動プロセスの研究をする一方でレイグジスタンスやVRシステムのマンマシンインターフェイスの設計を行ってきた経緯がありますので、そういった研究用システムの設計者としての観点からVRシステムとHMDの設計をとりまく現在の状況と問題点について、あえて僭越ながら苦言（それとも泣き言でしょうか）を呈してみたいと思います。

1. デバイスとしてのHMD～デバイス設計に求められるもの

HMDとはHead Mounted Display、頭部搭載型の視覚提示装置のことです。その目的は、VRシステムにおける視覚情報の電子的なすり替えであり、頭部に搭載する理由

は「視覚センサーである眼球に近く、入れ替える情報を限定できる」からです。これに対して頭部に搭載することを諦める代わりに全周を電子的にすり替えた視覚情報で覆ってしまおうというのが、HMDの対極にあるCAVEに代表される全天周型ディスプレイシステムの考え方、ということになります。

なお、ここで論じるVRシステムとは没入感や臨場感を追求するインタラクティブでリアルタイムの感覚提示系であるとしします。かなり狭義の定義ではありますが、単なるインタラクティブCGとVRシステムの違いを求めるとするならば、このあたりに線を引く必要があると思うからです。

さて、このようなVRシステムにおける没入型の提示系としてのHMDに光学的に求められるスペックとしては歴史的には立体テレビの研究などの経緯からかなりシンプルにその要求が決まっています。たとえば、その接眼系の構成については、

- (1) 両眼視差を有効に働かせるためには両眼融合領域を水平で45度以上とること
- (2) 運動視差を有効に働かせるためには水平60度、垂直45度以上の視野をとること
- (3) 焦点調節と輻輳の間には生得的な反射があるため、提示系を固定焦点系で構成するなら約1mの位置に映像が結像するように構成すること

などがまず挙げられます。

その他、画面の明滅を感じさせずに仮現運動をなめらかに生じさせるには最低秒間20フレーム以上、輝度は最低6bit分の分解能が必要であるといった、TV提示技術の基礎研究に用いられた基準もあります。しかしこれらはカラーディスプレイデバイスの基礎技術の中に含まれているので、デバイスから新規検討する場合以外にはあまり意識されないようです。

また、解像度については多くのHMDが表示画素数で記述していますが、本来、これを視野角で割った値が被験者にとっての空間の分解能になります。そのままでは解りにくいので、この1ピクセルの視野角を分で表して逆数にしたものを換算視力とみなして評価するのが直観的で分かり易いようです。つまり、そのHMDを装着した場合、その視力の目で世界を見ているのと同じ感覚になるということです。たとえば、一般的なTV信号であるNTSC信号の水平分解能470本という画像では水平視野角45度を確保した場合、その見えは視力に換算すると0.2を下回るという評価によって見えのクオリティの想像が付きやすくなるわけです。

本来、提示デバイスとして構成できる視野は広いに越したことはありませんし、分解能も高いに越したことはありませんが、それらの上限としては次のような数字が考えられます。

視野角の上限としては、実際のところ人間の視界というものは顔によって遮られますので、片側視野で水平方向では鼻側に60度、耳側に100度、垂直方向では上方60度、下方70度程度あればほぼ全域の提示をしていることになります。必要とされる分解能については視力が規定してくれます。視力には様々な定義と分解能がありますが、ランドルト環などを用いた視力検査でよく測定される最小可読閾の0.5'（視力2.0相当）が一つの上限と見て良いでしょう。これらから単純計算すると水平解像度が2万本ほどの映像があれば視野を最小可読閾のパターンで埋めることが出来ます。

この数字をみて通信・提示技術の発展によって近い将来無理なく利用可能になる情報量であるか、それは難しいと考えるかによって高解像度化へのアプローチは異なってきます。

たとえば、本来人間の網膜上の視力は視野中心で一番高く周囲に行くにつれて急速に低くなります。中心から10度ずれると視力は約5分の1になりますから、眼球の動きに合わせて分解能に勾配を持った画像情報を提示してやれば、バーチャルに高解像度の広視野画像を見ていることになります。バーチャルなEMD (Eye-Mounted Display)

というわけです。実際に研究段階の提示方法としてこうした試みはいくつかなされていますが、重量やサイズの問題が大きくて頭部搭載に成功してはいません。

HMDは頭部搭載型、という性質上、サイズと重量の制限を受けます。正確には慣性モーメントの問題も含まれますので重量配分の制限も含む、と言った方が妥当でしょう。全体の重量が大き過ぎれば人間の首がそれを支えられませんが、重量に耐えられたとしても、慣性モーメントが大きかったり偏りがあるとともに頭部運動が出来ません。軽量化の努力によって今や総重量が100gを切るHMDが出来ようかという時代ですから、やがて杞憂に終わるようになるかもしれませんが、この後者の慣性モーメントの偏りの問題は意外と見過ごされやすい設計要素なのです。首の筋肉は本来の頭の慣性モーメントを滑らかに駆動できるようにチューニングされており、それに応じた筋指令を発生させているので、慣性モーメントの分布を大きく変えてしまうと「動きが楽な軸の方へ誘導されるように首ごと逃げる」ような動きをしてしまい、首にも視覚にも相当な負担と違和感を生じてしまうのです。リンクやカウンタウエイトなどで重力補償された重めのHMDの場合にはこの設計の善し悪しが如実に現れます。

しかし、面白いことに逆にこの重量の分布さえ正しく設計すれば全体の慣性モーメントが多少大きくても頭部の運動自体は滑らかで違和感の少ないものになります。画像生成系の反応が遅いシステムの場合、動特性を一致させればむしろ軽量のディスプレイを用いた場合よりも臨場感の綻びが小さくなる場合すらあるのです。HMDは単体のデバイスとして使用されるものではなくVRやトレイグジスタンスのシステムの一部として利用されるものですから、単体の性能以上にシステムとのマッチングが重要であるということの現れであるとも言えます。そこで、次にシステムとしてHMDを利用するという観点からその問題点を見ていきましょう。

2. システムとしてのHMD～リアルタイム性というもの

HMDに限らず、VRのシステム、というものを考えたときに、その構成は大体以下ようになります。

- (1) 人間の運動計測
- (2) 提示刺激の生成
- (3) 人間への感覚提示

この(1)から(3)までのプロセスを人間が気付かない

ほどの素早さでやり遂げること。

この時間的制約が「人間の感覚刺激を工学的手法ですり替える」という手法を目指す没入型の環境提示技術における共通の要請です。

例えば視覚提示の場合、視点が静止している場合でさえこの時間は30ms程度です。視点が移動しているときの運動成分の不整合の検出などですと、この条件はさらに厳しくなります。視点移動の代表格であるドライブシミュレータやゲーム機が秒間60フレーム以上を目指しているのもこのためです（これが触覚提示になるとこの時間はもっと短くなり、数ms以内を要求されますが、ここでは置いておきましょう）。

ちなみに、これは「30ms以内に画像を更新すること」とは別の話であることに注意して下さい。それは必要条件ではありますが十分条件ではありません。人間の運動が反映された画像がこの時間内に提示されることが必要なのです。離散時間系における計測+生成+提示の1サイクルがこの時間内に終了するようにシステムを構築する必要があります。人間の感覚系も運動系も物理空間の中で物理時間で動いていますから、待つてはくれません。ですから提示システムは人間に気付かれないようにこの僅かな時間の間に入力から出力までの作業を終えていなければならないのです。これが出来ないのであれば、このようなリアルタイム性の感覚置換による提示技術は成立しません。

実際問題として、現状でこの条件を満たしているVRシステムは多くはありません。

だからといって避けて通ることはできません。これはVRシステムに課せられた物理的制約の一部なのですから、この問題を解決してこそその工学です。ですから、VRシステム設計の際に考えるべき事は本来「このサイクルの間に何が出来るか」であって「どこまでの遅延を我慢できるか」ではありません。後者は酷い設計のシステムを掴まされた不幸なユーザーの悩みであって、本来のシステム設計者の思考ではありません。逆に言えば、どんなに遅くなくても綺麗な絵を見せたいのであればインタラクティブCGに徹すれば良いのであってリアルタイム性に左右される没入感や臨場感にこだわるべきではないのです。インタラクティブCGとVRはそれぞれの目的に応じて使い分けられるべき技術であるといえます。

ところが、この「リアルタイム性」という要素、意外に困った技術課題です。と言いますのも、まず学問としての研究対象になりにくい。それは実装上の問題だというわけです。一方で、VRがその提唱を成されてから今日までに

ゲーム以外で本格的な産業応用が進まない理由の一つはシステムとしてのレスポンスの遅さだと言われています。「これじゃあまだ使えない」と評されるようにちゃんとリアルタイム性のあるシステムが構成できていないということです。技術的には実装段階までできているのに、です。

リアルタイム性を満たしたシステム開発が後回しにされてきた理由の一つは宣伝のしにくさでしょう。確かに印刷物でもその効果が解るCGと違ってリアルタイム性は宣伝のしにくい性能です。実際に使ってみて初めてその効果が解る最もVR的な要素なのです。そのために看板として利用しにくい。つまり昨今のVRの産業展開の遅れはずっとVRを宣伝用の看板としてしか利用してこなかったことのツケが回ってきたものともいえます。

リアルタイム性が後回しにされてきたもう一つの理由は、「時間」という要素がシステム全体と構成要素ごとの双方の要求を満たすように設計されなければならないためです。構成要素の設計者が要素単体の要求にしか対応しない設計をしてしまうとシステム全体がうまく動かなくなります。そこで次に各構成要素の問題を見てみましょう。

2.1 運動計測の障害～ポヒマスセンサの功罪

まずHMDを含むVRシステムが最初にならなければならないことは人間の頭部運動を計測することです。HMDは文字通り頭部に搭載されていますから、その仮想視点がどこにあるかを常に計測し続けなければなりません。これは視覚のための光波面の再構成を両眼2視点分の平面映像によってまかなおうとするシステムにおいて共通の要請です。

この場合、頭部の位置・姿勢情報は6自由度の計測が要求されますが、これが意外なほどに難問であることは最初のVRシステムであるサザランド達の研究以来のHMD開発の歴史が示しています。ところが、これを一気に解決した（かのように見えた）のが、磁気ソースコイルとセンサコイルを組み合わせた3次元デジタイザであるポヒマスセンサでした。計測に磁気を使っているために人体を空気とほぼ等価に透過して計測できるという点において、このセンサは人体位置の低拘束な計測に福音をもたらしました。このセンサの登場によってVRが普及を始めたと言っても過言ではありません。もっとも逆に導電体に弱いという難点からVRシステムの多くの構造体が木材やプラスチックで作られることになる、といった副作用ももたらしました。

確かにこのセンサー、カタログスペックを見る限り、十分な計測精度を持っているように見えます。計測レートも

最大120Hzと一見十分な性能を持っています。しかし、実際にシステムに用いられるにつれて様々な弱点が知られることとなります。まず、最大の問題点は遅延時間です。計測のサンプリングレート自体は確かに120Hzかもしれませんが、そのデータが通信データとして出力されるまでに平均で50ms以上遅れているのです。しかも、この遅れ時間が必ずしも一定ではありません。計測の段階でソース電流の強弱の切り替えなど計測条件によってデジタイザ内で処理の手順を変更するらしく、遅れ時間が大きく変動します。こうした時間方向での精度の悪さに加えて元々の動作原理からしてセンサの運動によって生じる誘導電流が計測誤差を産むといったリアルタイム計測の面での弱点があるのです。さらに、座標変換ルーチンに問題（恐らく小さな計測値での除算）があるのか特定の位置・姿勢の近傍では値が不安定になります。これは通称「ポヒマス踊り」の名で知られている現象です。電磁ノイズや距離にも弱く、実際にコンピュータやロボットと同居させて信頼して使えるようにするためには相当に環境を整えてやる必要がありました。しかし、これらの問題を抱えながらも利用の容易さ故にこのセンサは長らくVRシステムにおける計測の主流でした。その他の通信の遅れや画像生成の時間遅れがさらに大きな時間遅れや変動を生んでいたためにセンサの遅れが目立たなかったからです。これはその間、VRシステムの提供する臨場感がその程度の水準に留まっていたために深刻な問題として認識されてこなかった、ということの裏返しでもあったのです。

2.2 画像生成の障害～GUI環境の功罪

視点の位置・姿勢情報が計測できたなら、それに基づいてその視点からの2次元画像を両眼分生成しなければなりません。これに際しては多くの場合CG処理によって画像が生成されます。この処理能力に関してはここ数年で飛躍的な進歩がありました。家庭用パソコンの急速な普及によって、かつては何千万円もしたグラフィック能力が数十万円のパソコン上のビデオカード程度で得られるようになったからです。3Dグラフィック用のソフトウェアも増えて特に開発用言語でプログラムを書かなくてもきれいな陰影効果付きの3Dポリゴングラフィックが簡単に作れるようになりました。遠近法や光源、視点の設定もマウスでチョイです。こうした状況はGUI環境の存在が大きな役割を果たしました。薬効には関係が無くとも糖衣が薬を普及させるのに役に立ったように、GUIがコンピュータの普及を促進したのは確かです。ましてその画像出力の負荷がグラフィックアクセラレータの開発を急速に促したこと

は間違いありません。

これに伴ってVRの画像生成部の構成も随分改善されたかと思いきや……あまり芳しくありません。部分的には悪化すらしています。例えば上記のパソコンですが、確かにスペックは上がりました。バスやメモリも高速化が進みました。でも、その性能と用途の大半はGUI環境の構築のためのものです。昨今のCPUの計算能力の上昇分が全てGUI環境の維持と管理に費やされており、純粋な演算や画面制御以外の入出力に割かれている演算能力自体は殆ど上昇していないという試算報告まであるくらいです。GUI環境ではリアルタイム性はあまり要求されません。せいぜい秒単位で反応さえすれば良く、その待ち時間が変動したところで大した問題とはみなされません。それよりもデータやプロセスを取りこぼさず行うことが最優先されます。UNIX以降の現在のOSの主流はそのような設計思想の上に成立しています。処理が間に合わなければ時計の方を遅らせてでも内部処理を優先する。それがこういったOSにおける設計思想です。同じCGでもCADなどはこの設計思想に目的が合致していました。CADはオペレータが設計図を引くためのツールですから描き損じないようにCGを完成させれば良いわけですし実時間的な制限も特にありません。しかし、このリアルタイム性の無さはVRのような用途には致命的です。実際、リアルタイム性の要求される用途にはGUI環境に主眼をおいたOSは不向きです。例えばロボット制御やそれに類するリアルタイムシステムにおいてはリアルタイムに対応した組み込み用の専用OSなどが用いられています。こうしたOSは大抵GUIを持たないか、持っても実行時には切り離せるように設計されています。何も流行にあわせて不向きなGUIの付いた環境で実行する必要はないわけです。むしろ古典的とも言える非GUIの専用の環境で実行すればVRシステムもリアルタイム性を維持できるはずで

ところが現実には多くの問題点が発生しました。商売の規模が違いすぎた、というのが資本主義的な結論です。同じ労力をつぎ込んだ製品が生み出す利潤に圧倒的な差が出るとしたら、利潤の高い方を選ぶ。それを責めることは出来ませんが、そのために非GUI系、リアルタイム系の環境の整備が後回しにされることとなります。現在のリアルタイム系の開発環境は低性能低コストの組み込み用の小規模用途のものが殆どで、計算能力や処理能力にワークステーションクラスの処理を要求されるVR環境の構築に適した大規模システム用ものではありません。決してこういった用途のソフトウェアが無くなってしまったわけではありませんが、そのためのソフトウェア・ハードウエ

アは特殊な物、利益率の低い物として、明らかに後回しになっているのが現状です。現在の主流のスペックからは数年以上遅れたものが何十倍ものコストをかけてようやく使えるかどうか、場合によっては将来に渡って対応すらおぼつかないものが多く発生しています。リアルタイムシステムの設計はコンピュータ技術の発達がうまく還元されない部分になりつつあるのです。

この問題が純粋に技術的問題ではなく社会的な問題に近いことは明かです。

この問題をクリアしている数少ないシステムはゲーム機です。ゲーム機に要求されるリアルタイム性は人間をシステムの一部としている点でVR環境のそれと一致しています。そうであるが故にゲーム機のソフトウェア環境はこの実時間性を重視した構成になっています。端的な例では、CG描画の際にも時間内に描ききれなければそこでタスクを切り上げて表示する、といった構成を採っています。こうすれば1枚の絵としては不完全ですが出力には間に合うこととなります。そして、実時間性を重視するシステムにおいてはこの戦略は正解です。例えそれが不完全な絵であっても実時間系においてはその不完全さはその瞬間だけの物です。逆に絵の完全さにこだわって実時間性を壊してしまうとその影響は前後何サイクルにもわたる相互関係を崩してしまうこととなります。

ある意味でゲーム機のハードウェア・ソフトウェア環境こそVR技術の研究現場で最も有効な開発環境だと思のですが、これまた資本主義市場の競争原理と契約の壁がその幅広い利用を阻んでいるようです。

2.3 提示系の障害～技術コストと光学系部品

昨今のディスプレイ技術の発達によって提示デバイスの軽量化・高解像度化が進んだことでHMDの特性も急速に改善されました。100g程度の軽量のHMDが10万円以下で売り出されている現状は10年前には夢物語でしかありませんでした。今後も提示デバイスの小型化・高解像度化が進んでいくにつれて表示器としてのHMDの性能は向上していくことでしょう。しかしながら、技術の発達が未だにうまく還元されていない構成要素があります。HMDの光学系です。

HMDの光学系は広視野角を要求される接眼系です。眼鏡の開発の長い歴史があるために多くの研究がなされているにもかかわらず、一般的な単一光軸の光学系と違った設計を要求されるが故に設計が難しいとされてきました。しかし、昨今の光学CADの発達によってその設計にはあ

る程度の目処が付くようになりました。ところがまず製造する事が出来ません。作る技術がないのではありません。手頃な精度や価格で特殊レンズやミラーを少数試作するという商売をしてくれるメーカーが無いのです。

お陰で、VRの研究者の多くが光学系で発生した歪みをCG上で歪め直して補正することで正しく提示するという工学的にはやや奇妙な研究をするはめになりました。たった数個のレンズやミラーによって物理的に光速で解決する問題を何千個の構成部品からなるコンピュータ内部の大量の逐次計算によって電子的に常時補正し続けることで肩代わりするというのは相当な技術コスト上のアンバランスです。にもかかわらず、現状ではこうして補正した方が安くつくのです。特殊光学部品の低コストな単品生産の商業化が待たれて久しいうちに技術的なアンバランスはこんなところまでできてしまったということです。

3. 没入型提示系としての評価～HMDとCAVEシステムの関係

昨今の没入型ディスプレイの流行はHMDからCAVEシステムに移行しつつあります。多くの人々が「CAVEシステムのほうが没入感や臨場感が高く綺麗」という感想を漏らしますが、これを額面通りに捉えることにはやや疑問を禁じ得ません。

まず、CAVEが有利である点として視野角の大きさによる周辺視の効果が挙げられますが、液晶シャッター眼鏡をかけて見る現行のCAVEの視野がそれほど決定的に広がっているわけではありません。市販の液晶シャッター眼鏡を使う限りその有効な視野角は120度程度です。

また、映像が綺麗かどうかに関して言うならば一般的に解像度はHMDのほうが有利です。CAVEシステムの多くが立方体の部屋を構成するために横長の画面の一部を切り捨てて面画像を構成しています。SXGAクラスの映像を用いても有効な水平分解能は1000本程度になり、これを平均90度の視野角内で観るのですから、その空間解像度は視力換算で0.18程度です。HMDは画面を切り捨てませんし、SVGA解像度を持つHMDも少なくありません。また接眼光学系の制限のために水平視野角90度以上を持つHMDは多くはありません。結果的にみてHMDのほうが高い換算視力の空間解像度を持っていることとなります。ましてディスプレイを直視できる分だけHMDの映像のほうが高いコントラストを持っているはずで

むしろCAVEシステムの評価が一般に高い理由は、相対的に見た「視覚世界の安定性」が原因ではないかと思えます。HMDに比べると相対的に世界がきちんと止まっ

で見えるのです。これが没入感や臨場感の向上に繋がっているのではないかと思います。

では何故世界が安定して見えるかといえば、通常どちらのシステムでも実時間性が破れているから、という皮肉な理由があります。同じように遅れ時間の大きいシステムならば、観察者の頭部の運動によって引き起こされる提示画像上の変化量が少ないCAVEシステムの映像のほうがHMDシステムの映像よりもボロが出にくい、ということです。ある意味、これは極めてVR的な解決法です。画像に嘘があったとしてもその嘘を人間が気付く閾値以下に押し込めることこそがVR技術の本質ですから、この流行も歴史の必然というわけです。しかし、単に時間遅れを補償するための手法として考えるには、HMDよりも遙かに高価で何10倍ものスペースとシステムの物量を必要としながらHMDと同様にたった一人の観察者の視点での提示しかできないCAVEシステムは技術コストからみるとかなり不利な装置です。導入された理由はむしろ特殊な光学系や軽量化の技術を必要とせず既存のリアプロジェクション技術の組み合わせで構成出来るためにHMD以上に開発要素が少なかったというメリットからかもしれません。技術開発をするよりも物量で解決したほうが手取り早かったということです。しかし、この効果は提示対象が静止した遠景だから生じる利点です。これが手の届く範囲の対象物となると話が変わってきます。この距離では観察者の頭部の運動によって引き起こされる提示画像上の変化量はCAVEシステムのほうがHMDよりも不利に働きます。そういう意味ではHMDとCAVEシステムは得意分野を異にする相補的な関係にあるディスプレイであるといえます。双方ともに著しい省コスト・省規模化が図れるならば併用することによってVR環境構築を容易にしてくれることが期待できるのですが、普及のためには省スペースが必須の課題である以上なかなかそうもいきません。本来、VRは環境構築技術なのですから、「環境」の最小単位である「部屋」一つ分はどうしても提示・計測のためだけに食ってしまうのです。VRの研究がソフトウェアの研究と混同されて場所を食わない研究であると勘違いされることが多いのは不幸なことです。

4. 良いシステム工学・悪いシステム工学

ここまで挙げてきたいいくつかの問題点が、実は工学的な観点から見ればいかに不毛なものであるかは既にお気づきのことでしょう。なぜならその多くは物理的制約ではなく製品的制約に過ぎないからです。本来工学的には既に解けている問題を社会的な都合が邪魔しているわけです。

システム工学の仕事とは本来こういうシステム構築上の問題点を解決して最適なシステム設計を実現させることにあるはずですが、しかしながら、実際にはハイテクと呼ばれる巨大システムの現場に行けば行くほど、こうした既存の構成要素の都合に振り回されてその制約の下でシステムを設計してしまう設計者が多くなるようです。しかし、既存の製品の制約に従わざるを得ないのはユーザーの不幸であって、工学者の仕事ではないはずですが。システム設計に際して工学者が物理的制約以外の制約のためにシステム設計に制約を受けることは不幸なユーザーを拡大再生産する元凶となります。もちろん実際問題として、システム構築の際にその構成要素が増えていくにしたがって一人の設計者がその全てを設計することは困難になっていきます。そのために各要素ごとの設計・製作が分業化されていくこととなります。しかし、その分業化が進みすぎると他の構成要素のことを省みなくなる、もしくは特定の用途に限定した構成要素を設計・製作し始める。こうなると、本来の各構成要素の持つポテンシャルを十分に生かしたシステム設計が難しくなりはじめます。システム設計のための社会的コストが上昇し始めるとも言えましょうか。

こういう問題は随分古くから語られてはきました。ヴァン＝ヴォークトの古いSF「宇宙船ビーグル号の冒険（原題はThe Voyage of the Space Beagle, (1950)）」には科学の細分化・専門化による問題解決能力の低下を憂いるネクシャリスト（総合科学者）が出てきます。彼の憂鬱は現代のシステム工学者の憂鬱に限りなく近いものです。工学とは本来、問題解決のための学問です。細分化し・専門化することで各要素に細分化され専門化された問題を解決することに成功したら、今度は各要素を本来の物理的な問題を解決するために統合して一貫した機能を持つシステムを構築する。この最後のシステム構築をするのがシステム工学の仕事です。

これは例えば映画作りで言うなら監督の仕事です。監督が各専門スタッフに注文を出して部分を作らせ全体をまとめ上げる。そうすると一貫性のある映画ができあがります。ところが、スタッフが自分のやりたいようにやり始めると監督がただのエディターになってしまう。スタッフがてんで作った素材を何とか意味の繋がるように編集して作られた映画は一貫性のないパッチワークのようなものになってしまいます。

実際、現状ではシステム設計者の多くは後者のパッチワーク作業で物を作ることを強いられているのが実状ではないでしょうか。その結果、一貫性のない、無駄の多くて

十分な性能を発揮できないシステムが構築されることになります。

でもこの問題は既に述べたように研究対象となるような技術的課題ではありません。

例えばリアルタイム性が要求されるのであれば、たとえどんなに多くの要素が要求されているとしても、それらの要素を既存の形のまま直列に並べて遅延時間を増大させる設計をしてはならないはずで、問題を並列化して、入出力間において許容時間内にできることをさせるように各構成要素を構築して、並列に組み合わせていく設計が必要になります。

ところが、現在の産業の分業体制はこういった対応に極端に弱くなっています。問題を直列に細分化した結果、各要素を直列につなげないとシステムを構築できず、全体の都合に対応しようとする能力に欠けています。この場合に現実的に問題になっているのは技術的な壁ではなく社会的・商業的な壁です。曰く「それをするためにはA社とB社の製品のこの信号とこの信号を繋ぐねばならないが両社はそのようなサービスを行っていない」といったことです。こんな技術的・工学的には意味のないことの積み重ねがシステム設計をダメにする。技術立国にとってはなんとももったいない話です。

結局の所、この段階に至って必要とされているのは研究でも開発でもなく商品です。構成要素として利用可能な商品が不足しているのです。逆にいえば構成要素の商品開発を進めるビジネスチャンスであるとも言えます。往々にして産業の指向性は大量生産・大量消費による売り切り型の利潤追求に偏りがちです。しかし、かつて高度成長期の日本を支えたのは製品というシステムを構成する部品を作る中小メーカーの問題解決能力の高さでした。今も昔もシステム工学の要点と問題点は変わっていないようです。

略歴

前田太郎 (MAEDA Taro)

昭62東大・工・計数工卒。同年通産省工技院機械技研入所。平4東大先端科学技術研究センター助手。平6同大学院・工・計数工助手。平9同専攻講師。工博(東大)。人間の知覚特性と神経回路網モデル、マンマシンインターフェース、テレイグジスタンスの研究などに従事。

平2計測自動制御学会論文賞、平9同学会学術奨励賞、平3日本ロボット学会技術賞。

計測自動制御学会、IEEE、神経回路学会、日本ロボット学会、日本バーチャルリアリティ学会会員。