JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	インテグラル/モジュラー度合と垂直統合/水平分業度合をネットワーク科学と経営重心論から定量化を試みる
Author(s)	若林, 秀樹; 和手, 久直
Citation	年次学術大会講演要旨集, 38: 954-959
Issue Date	2023-10-28
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19205
Rights	本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management.
Description	一般講演要旨

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

２Ｅ１７

インテグラル/モジュラー度合と垂直統合/水平分業度合をネットワーク科学と経営重心論から定量化を試みる

○若林秀樹(東京理科大 MOT)、和手久直(東京理科大 MOT／CKD)
wakabayashi.hideki@rs.tus.ac.jp

1. はじめに

製品アーキテクチャ論は、製品を構造と機能の対応から、インテグラルとモジュラーに分け、更に、インテグラル/モジュラー軸、オープン/クローズ軸からなる 2×2 の 4 象限で、産業競争力、経営戦略、組織と関係づけ、包括的に語られる理論体系であり、藤本らにより 90 年代後半に基本概念が提唱されて以降、理論・実証の両面で多くの研究が為されてきた[1] [1]。元々、PC はモジュラー、自動車はインテグラルというように、製品アーキテクチャは不変であるとの前提だったが、実際には、製品の発展や業界の産業構造変化や技術戦略により、インテグラルからモジュラーに変わることも多い[2] [2]。業界側も、垂直統合から水平分業への変化やオープン&クローズ戦略変更により変りうる。

インテグラルかモジュラーか、オープンかクローズかの判断は、主観的な側面もあり、「ゼロイチ」で語られるものではないが、客観的定量化も必要である。前報[3] [3] でサイクルとボリュームの二軸による定量分析が可能な、経営重心論[4]を製品アーキテクチャ論に適用し、定量化の可能性を示唆した。本稿では、主要な製品業界についての適用例を示し、経営重心マップの日本が比較的優位を維持している「ジャパンストライクゾーン」が、製品アーキテクチャの「インテグラル/クローズ」と重なることや、これまで 4 象限で空白であった「オープン/インテグラル」の存在の可能性を指摘する。

また、ネットワーク科学の中心性等の指数をインテグラル/モジュラー、オープン/クローズの度合の判定に適用することを試みた。製品アーキテクチャ構造や、水平分業やケーレツ等の業界構造との関係を示した。なお、モジュラー/インテグラルの要素である機能と構造に要素が絡み合う複雑系についても言及した。すなわち、経営重心論とネットワーク科学を用い、製品アーキテクチャや業界構造について、定量化の可能性を示唆した。更に近年データセンタに関して注目されている「ディスアグリゲーション」[5]という技術がある。システムを要素に分割・再編成できる手法だが、これを併用することで、分割方法粒度や再編成を最適化でき、新たな多角化[6]方法としても有効であろう。

2. 先行研究

製品アーキテクチャ論には多数の先行研究があるが、定量化の試みは少ない。関連して競争力低下については多くの研究がある。PC の事例では、モジュラー型かつオープン型ゆえインテグラルが得意な日本の垂直統合型では上手く適合しなかったと説明された。露光機や工作機械は日本が高シェアだった当初はインテグラル型に分類されていたが、シェアを落とす中でモジュラー型だと指摘された[7] [4]。PC はデスクトップ型中心にモジュラー型とされ、2000 年頃日本が高シェアだったノート PC は摺合せ型とされたが[8] [5]、主要プレイヤーは台湾中国となり、EMS によって生産される今日ではモジュラー型であろう。日本が強かった軽薄短小家電もインテグラルに分類されていたが今はモジュラーに分類されるべきだろう。製造工程でも DRAM はモジュラー、車用冷延鋼板はインテグラルとされているが、DRAM が歩留まり改善でプロセスレシピをファインチューニングする等はインテグラル的だろう。

---

1 藤本隆宏 RIETI2002 年「製品アーキテクチャの概念・測定・戦略に関するノート」
2 城川俊一 2009 年 3 月東洋大経済論集「アーキテクチャにおける統合化とモジュール化」
3 若林秀樹　年次学術大会講演要旨集　kouen35_131.pdf (jaist.ac.jp)
4 経営重心、事業の広さや多角化ポートフォリオをサイクルとボリュームの二軸で分析できる。
5 データセンタで光電融合に関連してアーキテクチャを再編できる
6 多角化には、企業文化も変える必要がある。「両利きの経営」ではリソース活用があるが、既存部門とのカニバリの有無だけでなく、事業特性と企業文化の粘着性から、利用できないものもある。
7 青木昌彦・安藤晴彦 2002 東洋経済「モジュール化：新しい産業アーキテクチャの本質」
8 宮田憲一、渡邊大介 2013 組織科学 VOL46.No.3「製品アーキテクチャのダイナミズムと組織能力」

図表 1　オープン/クローズとモジュラー/インテグラルは時代で変わる　(出所)若林秀樹 2020

	クローズ	中間	オープン
モジュラー	メインフレーム *工作機械* **原発？**		パッケージソフト、新金融商品 PC、自転車
中間			
インテグラル （摺合せ）	乗用車、オートバイ *露光機(90年代)* *軽薄短小型家電*		 **官公需IT？**

藤本だけでなく、武石/青島も指摘している［1］ように、インテグラルかモジュラー型かは、相対的なものである。論者により時期により異なり、ダイナミックに変化する。オープン/クローズかも企業のサプライチェーンをどう捉えるかによって異なる。製品が 4 象限のどこかに分類されれば不変なのだろうか、換言すれば、製品アーキテクチャは不変なのだろうか。もし変わるとするなら、どういう客観的な条件が必要なのか。主観的にアーキテクチャが変わるのなら、この 4 分類はトートロジーとなり、日本が強い場合は、インテグラルに分類されるという後付け説明になってしまいがちだ。このように、既に指摘もされているが、4 象限を客観的に区分する基準を具体的に指摘する実証研究は多くはない。
前報［3］で、モジュラー化の目的を二つに分けて考えモジュール化の再定義を試みた。第一は業界のスケール大かつスピード早く、摺合せコストをモジュラー化メリットが大きいもの(摺合せも可能だがコスト面で不利)である。第二は、複雑度合大かつ期間が長期、或いはトライ&エラー的が不可能なアプローチが難しい一品タイプへの対応(そもそも摺合せ困難)である。このスピード対応やスケールメリットを目的としたモジュラー型とは異なるタイプを「第二モジュラー」とした。EUV はじめ高度化する半導体やディスプレイの製造装置が該当する。以上により製品アーキテクチャは図表 2 に再整理される。第一のモジュラー化とオープンの領域は、PC や自転車、パッケージソフト等であり、第二のモジュラー化とクローズの領域はメインフレームや原発等である。その中間に日本が競争力を維持している領域が存在する。乗用車はケーレツの時代には、摺合せ/クローズ領域だったが自動運転等 CASE 化が進む中でクローズとオープンの狭間に位置され、更に CASE インフラは左下、端末である EV 等のクルマは右上領域へシフトしよう。更にこれまで空白とされてきた「オープン/インテグラル」の象限にも事例が存在することを指摘した。官公需 IT 等は入札でスペックは開示され、複数企業が共同受注する日本特有の SIer のアプローチがあるが、インテグラル的でオープン的と言えるだろう。規模が大きく部品点数が多く固有周期が長くメンテナンスを擁する原子力や宇宙ステーション等はインテグラルだが、共同開発ゆえにオープンである。モジュラー設計は必要であるがシステムの階層では摺合せ要素がある。
こうして、新たに製品アーキテクチャ論を再定義すると、製品アーキテクチャマトリックスは、ほぼ経営重心マップと重なってくる。すなわち、モジュラー化と摺合せは固有桁数の軸、クローズとオープンの軸は固有周期の軸にそれぞれ対応する。摺合せ的かつクローズとオープンの中間領域はジャパンストライクゾーンと重なる可能性を指摘したが、定性的であった。

図表 2　製品アーキテクチャを二種類のモジュール化で再定義　(出所)若林秀樹 2020

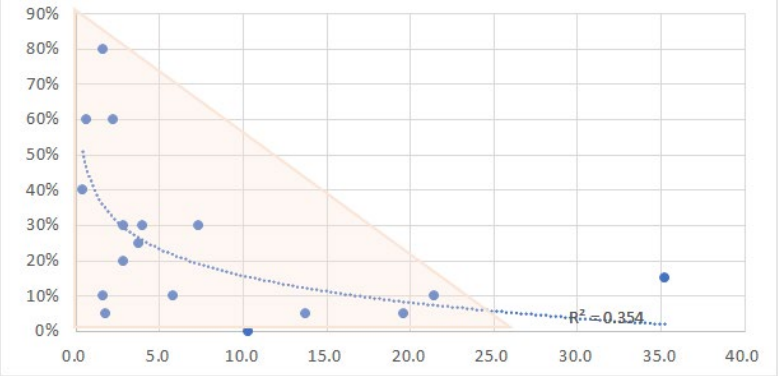
	クローズ	クローズ/オープン	オープン
モジュラー スピード対応 スケールメリット			パッケージソフト、新金融商品 PC、自転車 軽薄短小家電(デジカメ)
インテグラル （摺合せ）		乗用車 工作機械	 官公需IT
モジュラー 複雑化対応 摺合せ不可	メインフレーム 原発		EUV露光機 SMR

3. ジャパンストライクゾーンとアーキテクチャ論の重なり

本稿では、経営重心論でのジャパンストライクゾーン[9](以下、JSZ と呼ぶ)の中心、概ね、固有周期 6 年、固有桁数 6 を原点とし、再マッピング、アーキテクチャ論の 4 区分を重ねた。ジャパンストライクゾーンは、国際競争力を失う中でも、比較的競争優位な領域である。JSZ 原点からの距離と日本のシェアを示す。距離が近いゾーンでは高いが距離が 10 以上で急激にシェアを落としている。

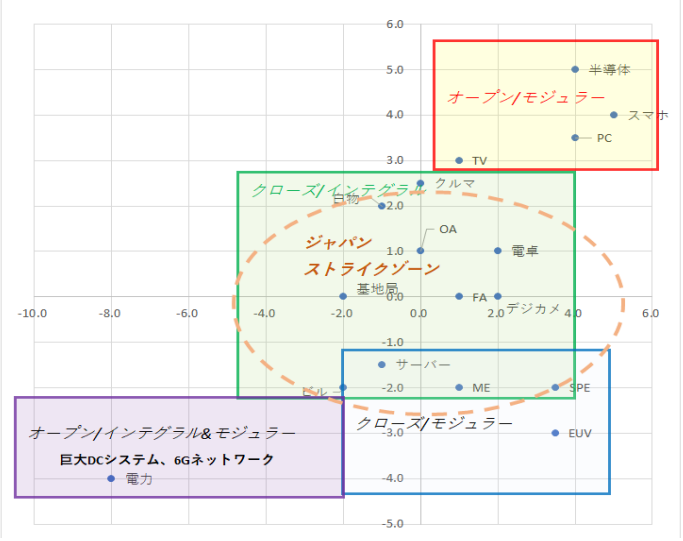
[9] 経営重心論で日本が強い固有周期 5－10 年、固有桁数 3-8 桁の事業領域

図表 3　経営重心論ジャパンストライクゾーンと日本企業シェア　(出所)若林秀樹 2023



JSZ は、ほぼ「クローズ/インテグラル」と重なり、その右上が、中国や韓国台湾が強い PC やスマホ等のオープン/モジュラー、右下に、JSZ から離れ、競争優位を失いつつある「クローズ/モジュラー」があり、その左には、欧米が優位な巨大システムが多い「オープン/インテグラル」の領域がある。これは、インダストリー4.0 はじめ欧州がリードするネットワークで繋がり標準化が重要な領域である。

図表 4　アーキテクチャ論とジャパンストライクゾーンの関係　(出所)若林秀樹



以上により、経営重心論の二軸の固有周期と固有桁数を使って、JSZ 原点からの位置関係(相対固有周期、相対固有桁数と定義する)で、アーキテクチャ論の 4 象限を定量的に分類できる。すなわち、上記の二軸マップ座標で、4 つの領域の存在範囲を定量的に示せる。

<u>オープン/モジュラー</u>　　相対固有周期＞0　かつ　相対固有桁数＞3 前後、原点から遠い程度合が強い

<u>クローズ/インテグラル</u>　－4 前後＜相対固有周期＜4 前後　かつ　－3 前後＜相対固有桁数＜3 前後
ここは、JSZ の領域だが、一部、クローズ/モジュラーとも重なる

<u>クローズ/モジュラー</u>　　－2 前後＜相対固有周期＜4 前後　かつ　－4 前後＜相対固有桁数＜－2 前後

<u>オープン/インテグラル</u>　相対固有周期＜－2 前後　かつ　相対固有桁数＜－2 前後、
ここは空白とされた領域､巨大DCや6Gや電力のネットワーク等長期メンテナンス必要で公共性高い。

4. 設計アーキテクチャ論での機能と構造対応、産業構造にネットワーク科学を適用

設計アーキテクチャ論では、機能と構造の関係から、モジュラーとインテグラルに分類しているが、その関係性は、実際には複雑であり、年々、その度合が増している。機能、構造、それぞれが明確に分離されていない場合もある。すなわち、モジュラー的かインテグラル的かという相対的なものである。

図表 5　業界構造と製品アーキテクチャ　(出所)若林秀樹 2023

		製品		
		モジュラー	プラットフォーマ	インテグラル
業界	モジュラー（水平分業）	PC？		アップル、自動車
	プラットフォーマ		スマホ	
	インテグラル(垂直統合)	ＥＶ？		かつての総合電機

産業構造も、同様に、オープンかクローズかという明確に分離されるものではなく、あくまで相対的であろう。オープン度合をどう定義するかが難しい。むしろ、業界についても、オープン/クローズではなく、モジュラーかインテグラルで表現した方がわかり易い場合もある。さらに、垂直統合、水平分業、ケーレツ、プラットフォーマ等、多様なパターンが増えており、それらも明確に分離されるものではない。実際、最初に設計アーキテクチャ論が出た当時は、水平分業化が進行中で、プラットフォーマは、まだ存在感が薄かった。ネットワーク科学によれば、こうした複雑なシステムの度合が可視化され、中心性などの指数で定量的に分析、特性が把握できる、そこで、モジュラー/インテグラルについて、次に業界構造について、ネットワーク科学を適用する。

5. ネットワーク分析による設計アーキテクチャ

アーキテクチャ論では、構造と機能を対応させ、モジュラーかインテグラルかを分けてきた。しかし、考えてみれば、構造も綺麗に分離されているか、機能も綺麗に切り分けられるかは疑問である。すなわち、n 種類の構造要素もお互いに関係し、m 種類の機能も複雑に絡みあっている場合もあるのではないか。元来のアーキテクチャ論は、構造要素の行列が、対角行列であり、機能要素も対角行列を前提としているが、そうではない。以上から、下記のように、単純な n×m の対角行列(完全モジュラー)、複雑な n×m の行列(完全インテグラル)、機能か構造のどちらかは、対角行列だが、もう一つは非対角行列、機能も構造も非対角行列であり、n×m 複雑な場合、に分け、ネットワーク分析を行った。

図表 6　製品アーキテクチャ　モジュラーとインテグラルに完全と不完全　(出所)若林秀樹 2023

完全モジュラー

	機能 1	機能 2	機能 3	機能 4	機能 5	機能 6	機能 7
構造 1	1						
構造 2		1					
構造 3			1				
構造 4				1			
構造 5					1		
構造 6						1	
構造 7							1

完全インテグラル

	機能 1	機能 2	機能 3	機能 4	機能 5	機能 6	機能 7
構造 1	1	1	1	1	1	1	1
構造 2	1	1	1	1	1	1	1
構造 3	1	1	1	1	1	1	1
構造 4	1	1	1	1	1	1	1
構造 5	1	1	1	1	1	1	1
構造 6	1	1	1	1	1	1	1
構造 7	1	1	1	1	1	1	1

不完全インテグラル

	機能 1	機能 2	機能 3	機能 4	機能 5	機能 6	機能 7
構造 1	1	1		1		1	1
構造 2		1	1	1	1		1
構造 3			1	1	1	1	1
構造 4	1	1	1	1		1	1
構造 5		1			1		1
構造 6	1			1	1	1	1
構造 7	1	1	1	1	1	1	1

モジュラー(複雑)　構造か機能のどちらかが複雑

	機能 1	機能 2	機能 3	機能 4	機能 5	機能 6	機能 7
構造 1	1	1					
構造 2	1	1					
構造 3			1	1	1		
構造 4				1			
構造 5			1		1		
構造 6						1	
構造 7						1	1

構造の複雑

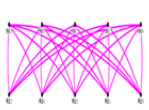
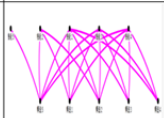
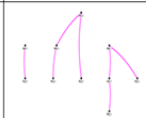
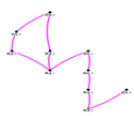
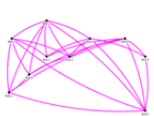
	構造 1 －2		構造 3 －5			構造6－7	
構造 1 －2	1	1					
	1	1					
構造 3 －5			1	1	1		
				1			
			1		1		
構造6－7						1	
						1	1

機能の複雑

	機能 1 －2		機能 3 －5			機能6－7	
機能 1 －2	1	1					
	1	1					
機能 3 －5			1	1	1		
				1			
			1		1		
機能6－7						1	
						1	1

下記に各ケースの中心性等の指数を示す。完全なモジュラーでは次数中心性は同じになり、媒介中心性は 0 になる。完全なインテグラルでは、次数中心性は次数で同じになり、媒介中心性は 2 となる。いずれも中心性の分布は同一である。不完全なモジュラーやインテグラルでは、これらが異なる。平均距離や密度で複雑度合がわかる。機能と構造のそれぞれが綺麗に分化されている場合は、クラスタリング相関は 0 になる。以上はアーキテクチャの度合の客観的な判定に有用である。

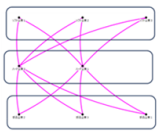
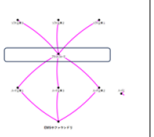
図表 7　アーキテクチャ別の中心性など　(出所)若林秀樹 2023

	モジュラー(完全)	インテグラル(完全)	インテグラル(不完全)	モジュラー(複雑)	モジュラー(複雑)	複雑
						
次数中心性　平均	1	5	3.8	1.4	2	5.1
媒介中心性　平均	0	2	3.2	0.8	9.5	1.9
近接中心性　平均	1	0.077	0.067	0.367	0.037	0.079
固有ベクトル中心性　平均	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
ページランク中心性　平均	1	1	1	1	1	1
中心性の分布	同じ	同じ	様々	様々	様々	様々
最大距離（直径）	2	2	3	3	7	2
平均距離	0.5	1.3	1.54	1.16	2.8	1.28
密度	0.11	0.56	0.42	0.16	0.22	0.58
クラスタリング　相関　平均	0	0	0	0	0	0.51

6. 業界構造

業界構造も同様に、各社のネットワークの繋がりから、水平分業型、ケーレツ型、プラットフォーマ型、総合電機型に分けられ、ネットワーク科学の知見を適用できる。いずれも 8 社からなる単純な業界だがネットワーク構造により指数が大きく異なる。結果を図表 8 に示すが、総合電機型以外は、クラスタリング相関係数が 0 となる。中心性解析ではネットワークの中でのコントロールポイントとなっている企業が発見できる。クラスタリング相関係数が 0 ということは不安定だが業界構造は変化し易い。水平分業体制は平均距離小だが密度は高いのに対し、ケーレツは距離大だが密度は低い。プラットフォーマ型はその中間である。

図表 8　業界構造とネットワーク科学の指数　(出所)若林秀樹 2023

	水平分業	ケーレツ	プラットフォーマ	総合電機　型
				
次数中心性　平均	3	1.75	2.14	3.43
媒介中心性　平均	2	4.88	2.93	2.21
近接中心性　平均	0.095	0.063	0.084	0.095
固有ベクトル中心性　平均	0.125	0.125	0.129	0.133
ページランク中心性　平均	1	1	0.962	1.046
最大距離（直径）	2	4	3	3
平均距離	1.38	2.09	1.56	1.38
密度	0.43	0.25	0.32	0.46
クラスタリング　相関　平均	0	0	0	0.57

7. 考察～業界構造と製品設計構造の対応

これまで、客観的な分析が困難であったアーキテクチャと業界構造について、経営重心論とネットワーク分析により可能にした。今回は簡単なモデルによるシミュレーションだが、複雑で直感的には判断しにくい構造に対しても客観的な判断が可能になる。更に、アーキテクチャと業界構造の関係も解析可能になる。各種中心性の数値や分布により水平分業度合などを定量的に判定できる。クラスタ係数や平均距離、中心性の差異が有効であろう。

図表 9　業界構造とアーキテクチャ構造のネットワーク分析結果　(出所)若林秀樹 2023

			アーキテクチャ論		
			シンプル		複雑
			完全モジュラー	完全インテグラル	
			密度　クラスタ係数0　平均距離　中心性は同じ、媒介0	密度　クラスタ係数0　平均距離　中心性は同じ、媒介>0	密度　クラスタ係数0　平均距離　中心性は様々
業界構造	クローズ=ピラミッド	密度　小　クラスタ係数0 平均距離　小　中心性バラツキ			
	PF?	密度　クラスタ係数 平均距離　中心性バラツキ			
	オープン=Nトップのマトリックス型	密度　中　クラスタ係数　中 平均距離　大　中心性バラツキ			

スピード対応とアーキテクチャとの関係は、クローズが早く、オープンが遅く、モジュラーは早く、インテグラルは遅い。規模との関係は、小さい場合はモジュラーであるが、そこそこの規模ではインテグラル、更に大きくなるとモジュラーになり、小さいとクローズ、大きくなるにはオープンである。

オープン&モジュラーは巨大なネットワークシステムに有効だが、インターフェースを公開し、そのインターフェースを機械学習等で摺合せ、プラットフォーマ型に親和性がある。

水平分業ほど、クラスタ係数 0 になり、中心性は同じになる、これは、業界としてスピードはあり、柔軟だが、安定性に欠ける。垂直統合はクラスタ係数>0、中心性は色々だが、業界の動きは遅く、柔軟性はあるが、安定だが変わりにくい。これらは以前から定性的には指摘されていたが、ネットワーク科学の知見からも裏付けられ、客観的かつ定量的に分析できた。

アーキテクチャと業界構造のネットワーク科学から見た関係性の因果関係は、今後、ケーススタディ等を通じた研究が必要であろう。

8. おわりに

本稿では、これまでも指摘してきた、経営重心マップとアーキテクチャ論との関係を示し、JSZ が、インテグラル/クローズと重なることを定量的に示した。これは、藤本の指摘した 4 象限に相対固有周期と相対固桁数の 2 軸を入れたことで、その度合いが分かる。更にオープン/インテグラルの可能性を指摘した。モジュラー/インテグラル、オープン/クローズ、それぞれの中心性や密度を試算した。

モジュラー/インテグラルは、製品アーキテクチャ、オープン/クローズは業界構造に関する戦略だが、前者には、機能や構造それぞれが分離されていない「複雑モジュラー」型もあることを指摘した上で、ネットワーク分析による特徴抽出を行った。モジュラーであれば、複雑型ならクラスタ係数は 0 となり、インテグラルでも複雑でなければ 0 になるため度合いを判定できる。業界構造もネットワーク分析から判断できる。水平分業はクラスタ係数 0、距離小さく密度も小さく、スピード早いが安定に欠ける等を指摘した。

もちろん課題も多い。今回ネットワーク分析では簡単なモデルによるシミュレーションであり、実際の製品や業界について実証が必要であり、ネットワーク科学における中心性をはじめとする数値の意味や因果関係をケーススタディにより考察することが必要であろう。

参考文献　URL は 2023 年 9 月 14 日アクセス

[1] 藤本隆宏 RIETI2002 年「製品アーキテクチャの概念・測定・戦略に関するノート」
[2] 城川俊一 2009 年 3 月東洋大経済論集「アーキテクチャにおける統合化とモジュール化」
[3] 若林秀樹　年次学術大会講演要旨集　kouen35_131.pdf (jaist.ac.jp)
[4] 青木昌彦・安藤晴彦 2002 東洋経済「モジュール化：新しい産業アーキテクチャの本質」
[5] 宮田憲一、渡邊大介 2013 組織科学 VOL46.No.3「製品アーキテクチャのダイナミズムと組織能力」