

Title	スマートフォンにおける製品アーキテクチャの変化 : グーグルのモジュール化スマホは何故失敗したのか？
Author(s)	中田, 行彦
Citation	年次学術大会講演要旨集, 33: 390-395
Issue Date	2018-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/15664
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

2 B 1 7

スマートフォンにおける製品アーキテクチャの変化 グーグルのモジュール化スマホは何故失敗したのか？

○中田行彦（立命館アジア太平洋大学）

1 はじめに

情報技術（IT）の革新とグローバル化の進展は、企業組織間の関係、企業のグローバルネットワーク等と共に、産業アーキテクチャの複雑性を増大し、大きな影響を及ぼしている。

この複雑性を解きほぐす概念として、モジュール化が提案され研究されている。Baldwin と Clark（2000）は、コンピュータ産業の分析から複雑なシステムを単純化するための概念として、「モジュール」の概念の重要性を述べた。モジュール化は、現在の複雑性を単純化する方法として、多くの長所を持っている。そして、製品アーキテクチャは、「すり合わせ」から「モジュール化」へ変化している。

藤本(2004)は、逆に他のユニットとの相互依存性を維持した「擦り合せ型（すり合わせ型）」の概念で、日本に適するアーキテクチャは、サブシステム中の調整を必要とする「すり合せ型」と指摘した。

このため、なにが製品アーキテクチャの変化を決めるのか？つまりなにがアーキテクチャの方向を決めるのか、という問題意識をもった。

一方、米グーグルが「モジュール化」によるスマートフォンを開発する「Project Ara」進めていた。しかし、その後プロジェクトを断念した（日本経済新聞 2016b）。グーグルの狙いは、「モジュール化」により、ハードウェア開発の速度や効率を向上させることだった。

なぜグーグルのモジュール化スマホは失敗に追い込まれたのか？

本研究の目的は、グーグルのモジュール化スマートフォンの失敗事例から、モジュール化に失敗する原因を考察することである。この結果は、なにが製品アーキテクチャの方向を決めるのかという課題に示唆を与えることが期待できる。

2 アーキテクチャに関する先行研究

Ulrich (1995) は製品アーキテクチャを機能と構成の対応でモジュラー型とインテグラル型に分けた。

Baldwin と Clark (2000) は「モジュール化」の重要性を強調した。彼らは「モジュールとは、その内部では構造的要素が強く結びつき、他のユニットの要素と比較的弱く結びついている、ひとつの単位である。その結びつきには程度の差があり、モジュール化には濃淡がある。」と定義した。このモジュールを区分するルールを「デザイン・ルール」と呼んだ。

モジュール化の長所として、次の3つを挙げた。1) 「管理可能な」複雑性の範囲を拡大する、2) 異なる部分の同時作業を可能にする、3) 不確実性に適応する。

藤本(2004)は、日本に適するアーキテクチャとして、サブシステム中の調整を必要とする「擦り合せ型（すり合わせ型）」を指摘した。またモジュール型を、「デザイン・ルール」をオープンにしている「オープン・モジュラー型」、デザイン・ルール」をクローズドにしている「クローズド・モジュラー型」、そしてクローズド「すり合わせ型」の3つに分類している。

柴田 (2008) は、産業発展段階に応じ「モジュール型」と「すり合わせ型」は、一方的に変わるのでなく技術体系を高度化させながら往還すると指摘した。

中田 (2009) は、液晶、半導体、太陽電池の比較研究から、なにがビジネス・アーキテクチャの方向を決めるのかを考察した。その結果、プロセス日数で示される「複雑性」が大きい程、また「競争戦略」でデザイン・ルールが差異化要因と関連しない程、モジュール型の程度を拡大する方向に動くことを見出した。また、スマホのモジュール化を分析した (2016a, 2016b)。そしてアーキテクチャの決定要因として「複雑性」「競争戦略」「組織能力」「破壊的イノベーション」を試案として提出した (中田 2017)。

3 分析の視角と方法

本研究の目的は、グーグルのモジュール化スマートフォンの失敗事例から、モジュール化に失敗する原因を考察することである。この結果は、なにが製品アーキテクチャの方向を決めるのかという課題に示唆を与えることが期待できる。

分析方法として、新しい動きであること、種々の活動が相互依存した複雑な構成となっていることから、事例研究法を用いた。

事例としては、グーグルのモジュール化スマートフォンの失敗事例を取り上げる。この事例を取り上げる理由は、製品アーキテクチャが「すり合わせ」から「モジュール化」へ変化する世界の状況のなかで、これと逆行するモジュール化の失敗事例であること、グーグル社が大きな構想をかかげ現在のスマホ産業に挑むグローバルなビッグプロジェクトであったこと、である。

つまり、グーグルのモジュール化スマホの失敗事例から、モジュール化に失敗する原因を考察する。さらになにが製品アーキテクチャの方向を決めるのかという課題に示唆を与えるアプローチを取る。

分析手段として、新聞、学術誌、業界誌、セミナー、インターネット情報を用いた。また、今までに研究してきた、コンピュータ、スマホや、液晶、半導体のモジュール化への動きと比較して考察した。

4. グーグル Project Ara の事例研究

4.1 Project Ara の構想

グーグルは、2015年現在、スマートフォン用のOSとしては、世界シェア1位である「アンドロイド」を開発し、スマホの普及に貢献してきた。

そのグーグルが、モジュール化スマホプロジェクトを2014年4月に発表した（日経エレクトロニクス2014、日経産業新聞2014）。モジュールを組み立てて欲しい機能を実現するProject Araだ。

液晶パネルやストレージアプリケーションプロセッサ、カメラ、電池、3G通信などの各機能を搭載した「モジュール」を、「エンドスケルトン」と呼ぶ骨格をもつケースに挿すことで好みのスマホを組み立てられる（日経エレクトロニクス2015）。「モジュール」には、機能によって大きさを変化させ、1x1、1x2、2x2等の大きさがある。ユーザーはモジュールを用途や状況に合わせて自由に交換できる。つまり機能の選択がユーザーに委ねられる。

今までのように、メーカーや通信事業者が搭載すべき機能を決め、製品化してユーザーに提供してきたのとは全く異なる。既存のスマホのビジネスを一変させる可能性を持つ。

グーグルの狙いは、2つある（日経エレクトロニクス2014）。

第1は、「モジュール化」により、ハードウェア開発の速度や効率をソフトウェア並みに向上させること。これによりユーザーは、新技術を早期に利用できる。

第2は、世界にインターネット端末を行き渡らせることで、ネット広告事業を伸ばすためだ。

グーグルは、モジュール化スマホを促進するため、モジュール開発の速度・効率向上とモジュール開発者を増加する、グーグルは2つの方策を講じる（日経エレクトロニクス2014）。第1はモジュールメーカーに対して無償の開発環境を提供し、第2はモジュールの販売マーケットを用意することだ。

多くの企業を巻き込んで多くの「デザイン・ルール」を開発するには、人・モノ・金と時間がかかる。しかし、成功すると既存のスマホのビジネスを一変させる可能性を持っている。

4.2 Project Ara の仕様

図1（左）のように、液晶パネルやストレージアプリケーションプロセッサ、カメラ、電池、3G通信などの各機能を搭載した「モジュール」を、「エンドスケルトン」と呼ぶ骨格をもつケースに挿すことで好みのスマホを組み立てられる（日経エレクトロニクス2015）。「モジュール」には、機能によって大きさを変化させ、1x1、1x2、2x2等の大きさがある。ただし、センサーモジュールについては、サイズに例外を許している。種々のセンサーが考えられるからである。

ユーザーはモジュールを用途や状況に合わせて自由に交換できる。つまり機能の選択がユーザーに委ねられる。

また、Project Araは、新技術をはぐくむ苗床になることを考えていた。

Project Araの開発責任者 Kaigham J. Gabriel氏は次のように述べている（日経エレクトロニクス2014）。

「Project Araで導入する新しい技術は、挑戦のしがいがあるものばかりだ。その代表例が、モジュールとエンドスケルトンの接続に適用した非接触型のインターフェースである」

モジュールの着脱と電気接続に、電池等で一般的に用いられている、モジュールを機械的に嵌め合わせる「嵌合」とばね型電気端子という方式を採用しなかった。2つの新しい技術に挑戦した。

1つは、エンドスケルトンとモジュールの接続に、非接触型の高速度インターフェースという萌芽期の技術を採用した。非接触型は、接触型に比べて端子の摩耗がなくコネクタの寿命を延ばしやすい利点

がある。携帯機器内のデータ伝送速度をあげるため、MIPI(Mobile Industry Processor Interface)アライアンスが策定した M-PHY という高速インターフェース規格を 2011 年に策定した。しかし、殆ど利用されていなかった。Project Ara は、M-PHY をスマホへ世界で初めて応用し、最初のキラーアプリになると挑戦した(日経エレクトロニクス 2014)。

モジュールを外したエンドスケルトンにおける非接触型データ送受信部を図 1 (右) に示す。

この M-PHY に対応する専用 IC が不可欠で、3 種類あり東芝が開発した(日経エレクトロニクス 2015)。1 つが、エンドスケルトンの搭載される「スイッチ IC」である。スイッチ IC は、モジュール間の接続を制御するものだ。後の 2 つが、モジュールの搭載される「ブリッジ IC」である。この IC は、アプリケーションプロセッサ (AP) やディスプレイなど高速なデータ伝送を必要とするモジュール向けの「AP Bridge」と、その他のモジュールに向けた「GP Bridge」がある。これらを用いた Project Ara のデータネットワークの概要を図 2 に示す(日経エレクトロニクス 2014)。

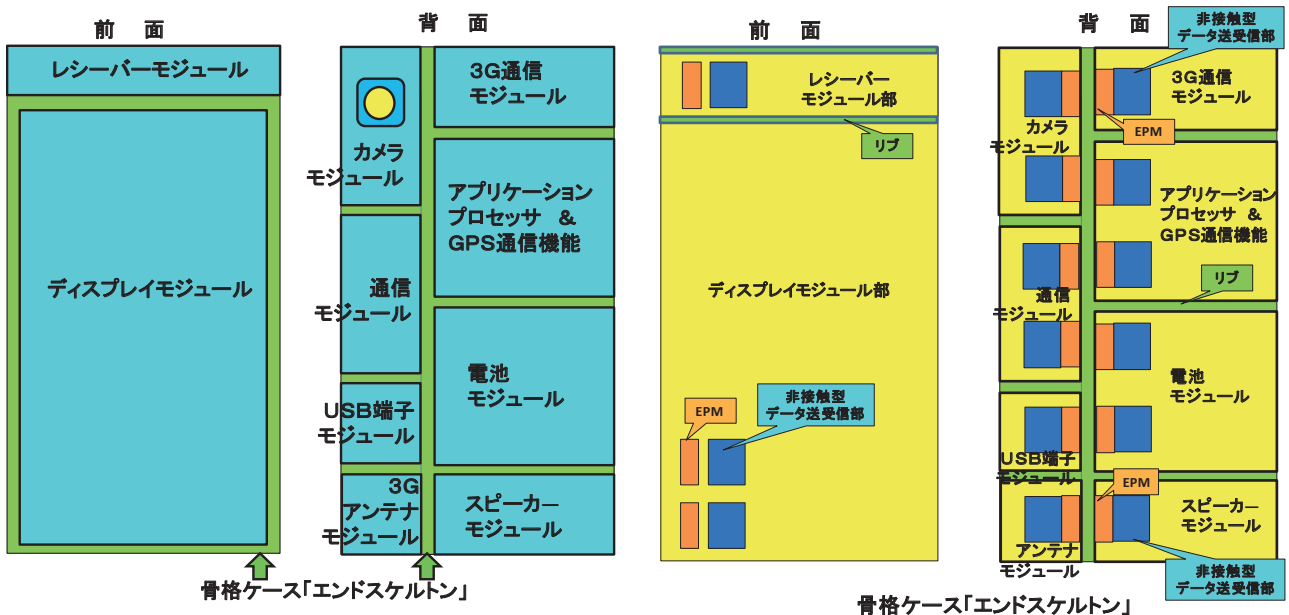


図 1 Project Ara のモジュールスマホ (左) と非接触型データ送受信部, EPM の配置 (第 2 世代品) (出展 日経エレクトロニクス 2014, 2015)

2 つ目の新しい技術は、モジュールを磁石で着脱可能にした技術だ。そのために EPM (electro-permanent magnets) という部品を搭載した(日経エレクトロニクス 2014)。EPM は、エンドスケルトンにモジュールを固定するための部品で、アルニコ磁石やネオジム磁石、軟磁性合金といった磁性材料で構成されている。パルス電流を流すことにより着脱できるようになっている。EMS の開発は台湾の鴻海が担当した(日経エレクトロニクス 2015)。この EPM の配置図を図 2 に示す。

「Project Ara では、モジュールは交換するが、エンドスケルトンは同一のものを約 5 年間ユーザーに利用してもらうことを想定している。利用期間が長いほど、端子部の接触不良を起こす可能性が高まるが、非接触型では心配がいない」という設計思想を持っている(日経エレクトロニクス 2014)。

ユーザーがモジュールを用途や状況に応じ自由に交換できる。例えば出張の日はバッテリーモジュールを 2 個装着する、旅行の日は高性能

(a) Project Ara のデータネットワークの概要

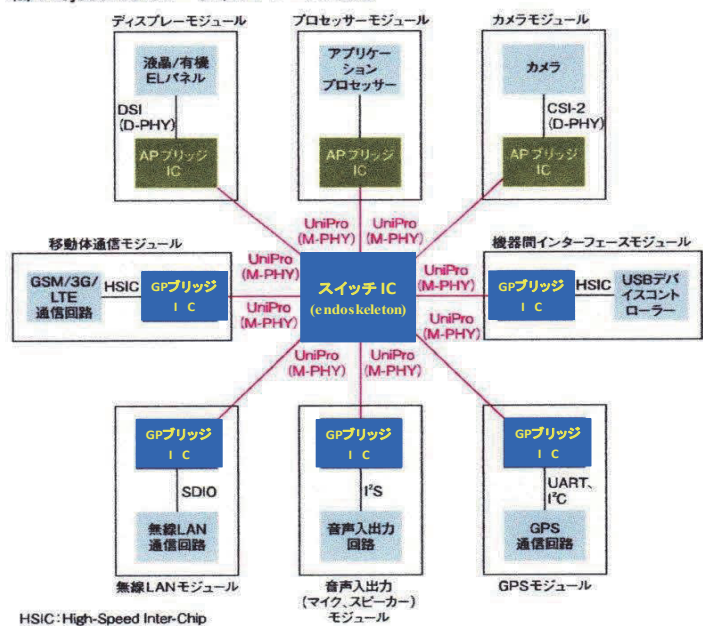


図 2 Project Ara のデータネットワーク (出展 日経エレクトロニクス 2014)

カメラモジュールを装着する等だ（日経エレクトロニクス 2014）

また、大型、中型、小型の3つの大きさのエンドスケルトンを想定しているが、1人のユーザーが複数台のエンドスケルトンを持つことを想定している（日経エレクトロニクス 2014）。この想定では、1つのモジュールを複数台のエンドスケルトンで使い回すため、モジュールの互換性と端子部の接触不良が問題となる

グーグル社は、スマホ用モジュールを提供する企業数の目標を1000社以上としている。こうなると、相互接続性が問題になるため、何らかの「認証プログラム」を課すことは間違いない、と捉えられていた（日経エレクトロニクス 2014）。

4.3 Project Ara の断念と方向転換

Project Ara では、開発作業に手間がかかり試験販売を2016年に延期することを2015年8月17日に明らかにした（日本経済新聞 2015）。

先端技術開発部門の ATAP (Advanced Technology and Project) が、Project Ara など次世代のスマホを開発していたが、ATAP のトップ経営者が2016年4月にフェイスブックに移籍した（日本経済新聞 2016a）。そして、2016年6月に、スマホやノートパソコン、メガネ型端末などのハードウェア事業を統合した（日本経済新聞 2016a）。ATAP も大半が新部門の傘下に入った。

そして、Project Ara の製品化を断念したことが、2016年9月2日に明らかになった（日本経済新聞 2016b）。グーグルは、開発に協力していた外部企業にプロジェクトを打ち切ると伝えたからだ。

グーグルは、2016年10月4日に、話しかけて操作する会話型人工知能 (AI) 「アシスタント」を標準搭載した新型スマホを発表した（日本経済新聞 2016c）。つまり、スマホを AI により差別化を図る方向に転換した。

2017年9月21日に、グーグルは台湾の宏達国際電子 (HTC) のスマホ事業の一部を11億ドル (約1230億円) で買収すると発表した（日本経済新聞 2017）。HTC のスマホ事業部に在籍する技術者約4000人のうち、半数がグーグルに移籍する他、HTC の特許をグーグルにライセンスする。

グーグルは、2018年10月にも自社開発スマホ「ピクセル」を日本市場に初めて投入する（日本経済新聞 2018）。

5. グーグルのスマホに見るモジュール化失敗原因の考察

5.1 デザイン・ルールの新技術への挑戦

中田 (2017) は、スマホやコンピュータのアーキテクチャ等の分析結果を踏まえて、藤本 (2004) が提案する基本タイプを基に、今までのビジネス・アーキテクチャの事例を図3に整理した。

コンピュータでは、クローズド・すり合わせ型から、クローズド・モジュラー型の IBM システム/360、PC が誕生しオープン・モジュール型パソコンへ段階的に進展した。図3に矢印で示した、クローズド・すり合わせ型から、クローズド・モジュラー、そしてオープン・モジュール型への変化が、最も一般的な変化である。

グーグルは、スマホにおけるリーダーシップを取ろうと、一気にオープン・モジュール型スマートフォンに挑戦した。しかし、断念に追い込まれて、挑戦は失敗することになる。

なぜ失敗したのか？この失敗原因を、内部要因と外部要因に分けて考察する。

グーグルの狙いに一つは、「モジュール化」によりハードウェア開発の速度や効率をソフトウェア並みに向上させること。ユーザーにとっても、自由度に富む。つまり、好みに合わせて自由に性能を選べる、性能を変更できる、新技術を早期に利用できる等のメリットがある。

しかし、このゴールを達成するために、デザイン・ルール設定に必要な技術をどのように企画するのか、つまり技術の挑戦レベルをどのように企画するかが重要である。このデザイン・ルール設定に必

	すり合わせ型	モジュール型	
		デザイン・ルール	推奨モジュール
クローズ	クローズド・すり合わせ型 1) コンピュータ 2) 自動車 3) 液晶 3) スマホ シャープ&シャオミ	クローズド・モジュール型 1) IBM システム/360 2) モジュール化自動車 3) スマホ社内のみで をDR決め活用	
オープン		オープン・モジュール型 1) パソコン 2) 半導体 3) スマホ グーグルProject Ara	オープン・ 推奨モジュール型 1) スマホ: MediaTech デザインハウス

(注) DR: デザイン・ルール

図3 ビジネス・アーキテクチャのまとめと推移 (中田 2017) に追記

要な技術レベルは、成功した時にえられる価値の大きさと、失敗のリスクの大きさととの間にトレードオフの関係にある。このため、具体的な選択肢の長所と短所を考慮したうえで決定する必要がある。まして、競争相手がいる場合は、競争に勝たないと生き残れず、デザイン・ルールを設定する意味がない。

Project Ara の事例では、モジュールの着脱と電気接続に、モジュールを機械的に嵌め合わせる「嵌合」とばね型電気端子という方式を採用しなかった。2つの新しい技術に挑戦した。非常に挑戦的な非接触型の高速度インターフェース M-PHY と、電磁着脱の EPM だ。

M-PHY の場合は、「スイッチ IC」と、2種の「ブリッジ IC」として「AP Bridge」と「GP Bridge」の開発が必要であり、東芝が担当した。また、EPM は鴻海が開発を担当した。

非常に高い技術レベルへの挑戦が、失敗のリスクを拡大したと考えられる。

また、想定した使用条件が多様で広範囲にわたり、この条件を許容するために要求仕様が厳しくなっていると考えられる。例えば、エンドスケルトンは約5年間利用する、ユーザーがバッテリーモジュール2個等を自由に交換できる、1人のユーザーが複数台のエンドスケルトンを持ちモジュールを使いまわす、スマホ用モジュールを提供する企業数の目標を1000社以上とする、相互接続性が問題にならないよう「認証プログラム」を課す、などである。

対応として、デザイン・ルールを段階的にアップグレードしてゆく構想をもち、最初は低い技術レベルから開始することが考えられる。例えば、コンピュータ等の情報機器に周辺機器を接続するためのシリアルバス規格の1つである USB (Universal Serial Bus) 規格では、最大転送速度の向上などを求めて、USB1.0～USB3.2と規格が拡張されている。ただし、この場合でも、上位互換が必要である。上位互換とは、機能や性能で上位に位置する製品が、同じ系列の下位の製品の仕様や機能も包含している(互換性がある)状態のことである。本事例で具体的に考えると、「嵌合」とばね型電気端子をデザイン・ルールすると、非接触型データ送受信を上位互換できないリスクが増大する。上位互換を考慮した上で使用条件に制限をかけることが考えられる。同じ形のモジュールでも設定できる場所や個数を制限しておく、等が考えられる。

5.2 競争相手の存在と戦略

グーグルと同様に、デザイン・ルールの設定に非常に苦労し挑戦した先行事例に、初期のコンピュータ設計が挙げられる。Baldwin と Clark (2000) は、初のモジュール型コンピュータ・ファミリー IBM システム/360 の創造過程を詳細に分析しており、以下にこれを引用する。

「IBM は、「互換プロセッサの新しいファミリーを開発すべし」との勧告レポートを提出した。かくしてシステム/360 が誕生した。システム/360 のデザイン・ルール段階は、コンピュータ産業における初の標準戦争だった。システム/360 の設計階層の最上位に、包括的デザイン・ルールがあった。

デザイン・ルールの不備は、プロセスのずっと後でないと現れてこない等、モジュール化アプローチにはリスクがある。予期せぬ相互依存性が密で、また治癒可能でない等である。

このような遅れに原材料不足が輪をかけ、2065年10月には生産遅延の発表を余儀なくされた。また、IBM のキャッシュ・フローは、短期間に赤字に転落した。このため、システム/360 プロジェクトの全体責任者にビンセント・ソーランが任命され、組織が一新された。

かくして IBM は、1967年初期までに、巨大で包括的なモジュール型設計に基づき、50もの新たなハードウェア製品を橋渡しする新たなコンピュータ、生産設備、サプライチェーン、プログラム等を創造した。そして1年間集中的に作業してバグを取り除き、シームレスに一緒に作動するようにした。」

しかし、初期のコンピュータ設計と Project Ara の場合に、競争相手の存在が大きく異なる。

IBM の場合は、ほぼ競争相手はいなかったが、Project Ara の場合、安価にスマホを生産する競争相手が沢山いた。

台湾のメディアテック社は、格安のプロセッサを販売するために、「リファレンス」を公表している。推奨部品は汎用部品であり「推奨モジュール」だ。「リファレンス」を基に「推奨モジュール」を集めて EMS 等を用いて組み立てれば、スマホが生産できる。これを「オープン・推奨モジュラー型」スマホと名付けている (中田 2017)。

6 おわりに

本研究は、グーグルのモジュール化スマートフォンの失敗事例から、モジュール化に失敗する原因を分析した。その結果、次のことが判った。

内部要因として、デザイン・ルール設定に必要な技術をどのように企画するのか、つまり技術の挑戦

レベルをどのように企画するかが重要である。

Project Ara の事例では、非常に挑戦的な非接触型の高速インターフェース M-PHY と電磁着脱の EPM の 2 つの新しい技術に挑戦した。

この非常に高い技術レベルへの挑戦が、失敗のリスクを拡大したと考えられる。

また、想定した使用条件が多様で広範囲にわたり、この条件を許容するために要求仕様が厳しくなっていると考えられる

対応として、将来の上位互換を考慮して、最初は低い技術レベルから開始することが考えられる

また外部要因としては、Project Ara の場合、「オープン・推奨モジュラー型」スマホを安価に生産する競争相手が沢山いたことがあげられる。

このグーグルのモジュール化スマートフォンの失敗事例から、製品アーキテクチャの方向を決める要因として、「デザイン・ルールの難易度」「競争相手の戦略」が挙げられることが判った。

著者 (2017) は、アーキテクチャの決定要因として「複雑性」「競争戦略」「組織能力」「破壊的イノベーション」を試案として提出しており、これらとの統合が今後の課題である。

【謝辞】 本研究に、日本学術振興会から科研費 JP16K03922 の助成を受けたことに感謝する。

【参考文献】

- Baldwin Carliss Y., and Kim B. Clark (2000). Design Rules; The Power of Modularity, Cambridge, MIT Press.
- 藤本隆宏 (2004) 『日本のもの造り哲学』日本経済新聞社。
- 中田行彦 (2009) 「なにがビジネス・アーキテクチャの方向を決めるのかー液晶、半導体、太陽電池の比較研究からー」 「マネージメント・ジャーナル」、創刊号、神奈川大学国際経営研究所、2009年3月31日, p5-18.
- 中田行彦 (2016a) 「モジュール化への新経路「推奨モジュール」：グーグルと中国のスマホ開発事例から」 日本 MOT 学会 2016年3月12日 (土)
- 中田行彦 (2016b) 『シャープ「企業敗戦」の深層』(株) イースト・プレス、2016年3月20日
- 中田行彦 (2017) 「なにがビジネス・アーキテクチャを決めるのか? : グーグルのモジュール化スマートフォンの事例から」 日本 MOT 学会
- 日経エレクトロニクス (2014) 「Project Ara でスマホ超越」2014年7月7日、日経 BP 社
- 日経エレクトロニクス (2015) 「Project Ara が実用へ 2015 年内に試験販売」2015年3月、日経 BP 社
- 日経産業新聞 (2014) 「グーグル「プロジェクト Ara」上、下」2014年8月7日、8日
- 日本経済新聞 (2015) 「組み立て式スマホ グーグル 試験販売延期」2015年8月19日
- 日本経済新聞 (2016a) 「グーグル、「グラス」やスマホ ハードウェア事業統合」2016年6月3日
- 日本経済新聞 (2016b) 「組み立て式スマホ グーグル、製品化断念」2016年9月3日
- 日本経済新聞 (2016c) 「新スマホに会話型 AI」2016年10月5日
- 日本経済新聞 (2017) 「HTC スマホ一部買収 グーグル、技術者 2000 人獲得」2017年9月21日
- 日本経済新聞 (2018) 「グーグルスマホ、日本に」2018年9月13日
- 柴田友厚 (2008) 『モジュール・ダイナミクス イノベーションに潜む法則性の探求』白桃書房
- Ulrich, Karl (1995) “The role of product architecture in the manufacturing firm”, Research Policy, 24,