

2010年3月3日
工学部11号館講堂

最終講義

ディペンダブルコンピューティング

— 情報社会の安全と信頼を創る —

南谷 崇

東京大学 大学院

情報理工学系研究科

反省と希望

- 学士だ、博士だとまで肩書きをつけて、はや三、四十年、
- さんざん学生どもの鼻づら掴んで引き回し、上げたり下げたり、右や左にひん曲げたりしてきたが、
- 結局分かったのは、我々は何ひとつ知ることができないということだけ！

--- ファウスト

- 人間は向上に努力する限り、迷うものだよ ---- 天上の主

経年変化

- 学問は変化する
 - 技術は変化する
 - 環境は変化する
 - 社会は変化する
-
- *最先端は次の時代には最先端ではなくなる*
 - *最適解は次の時代には最適解ではなくなる*

目指したものの、、、そして、目指すもの

- システム設計方法論

- システムはいつも正しく働くか？ それを確信できるか？

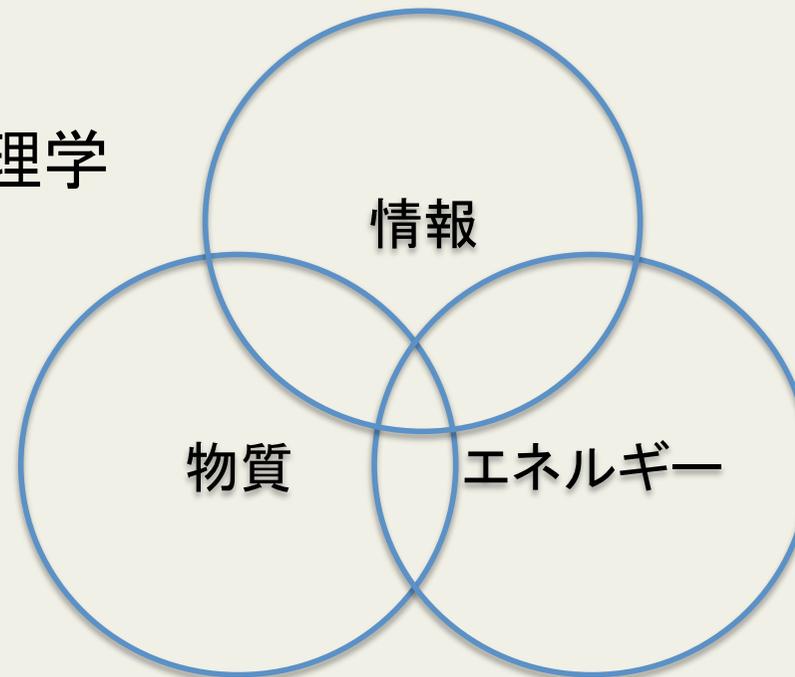
- タイミングが変動しても誤動作しないプロセッサ(非同期式設計スタイル)
- 自身の異常を自己検出するコンピュータ(セルフチェックシステム)
- ディペンダブルコンピューティング
- “変化する情報社会”の安全と信頼

45年前、、、

- 計数工学科の理念: 工学部で最も先進的！

対象: 情報

道具: 応用数学、応用物理学



工学が対象とする三要素

この40年で何が変わったか？

- VLSIのTr数: 2300個 "Intel4004"(1971) ->
23億個 "Intel Nehalem-EX" (2009)
- コンピュータ性能: 5 MFlops "CDC7600" (1969) ->
1.75 PFlops "CRAY-XT5" (2009)
- インターネット: ARPANET実験開始 (1969) ->
インターネット人口10億人(2009)
- 自動車: 機械の塊(1970) -> コンピュータの塊(2010)
- 大学キャンパス風景: 立て看(1969) -> 公園(2010)

この40年、何が変わっていないか？

- 人間の能力
- 地球に飛来する宇宙線の量
- 材料の耐用年数
- 卵の値段
- 安全と信頼への願い

今日の話題

- 少しだけ、これまでの研究の思い出
- さらに少しだけ、先端研のシステム改革の「特産物」
- 「変化する情報社会」のディペンダビリティ

1969年5月31日

東大・工・計数工学科

1971年3月31日

同・大学院・修士課程

日本電気・中央研究所

1981年3月31日

東工大 工・情報工学科
工・電気電子工学科
情報理工・計算工学専攻

1996年3月31日

東大 工・計数工学専攻
先端科学技術研究センター
情報理工・システム情報学専攻

2010年3月31日

学士の時代

- 1968年8月 東大合気道部卒業
 - 同期:岩田一政、橋本昌、関口順、荒井聡など、
- 1968年9月—1969年1月 全学ストライキ
 - 「大学(研究と教育)の存在そのものが資本主義的搾取に加担！」
 - 立看、団交、建物封鎖、内ゲバ、、、 東大入試中止へ

私の立場:大学の荒廃を憂え、工学部有志連合を結成、、、 ストライキ解除へ

- 1969年5月31日 東大計数工学科卒業
 - 同期:鳩山由起夫など

学んだこと

- 計測原論第三(森下巖先生)
 - システムの“内部状態”の概念
- カシオ計算機(夏期実習1968年8月)
 - “NAND 論理”による電卓回路の製作とデバグ
- 卒論:6号館地下の蚕棚(磯部研)
 - 「パターン計測と位置制御」装置の製作とデバグ
- 修士:宇宙研14号館(石井研)
 - T. L. Booth “Sequential Machines and Automata Theory”の海賊版
 - 修士論文(クロススペクトルの実時間計測)とは無関係!

日本電気・中央研究所へ

- 漢字パターン発生器: ハフマン符号で圧縮したパターンを高速復号する制御論理を非同期式順序回路で設計 (1971~1972)
- 研究所公開で展示・デモ
 - K.Ohmori, S.Naito, T.Nanya and K.Nezu, "An application of cellular logic for high speed decoding of minimum-redundancy codes," Proc. AFIPS Conf., Vol.41, pp. 345-351 (Dec. 1972).
- 当時の職場の先輩、同僚(敬称略)
 - 設計・テスト: 内藤祥夫(元・都立大教授)山田輝彦(元・明大教授)
 - 並列処理: 大森健児(法大教授)小池誠彦(法大教授)
 - 符号理論: 岩垂好裕(元・名大教授)
 - LSI-CAD: 大附辰夫(早大教授)、後藤敏(早大教授)
- 非同期式順序回路の設計理論研究へ (1973~1977)

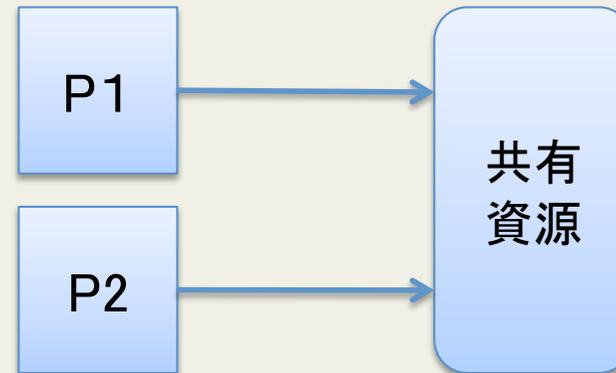
非同期式順序回路の論理合成

(1973~1977)

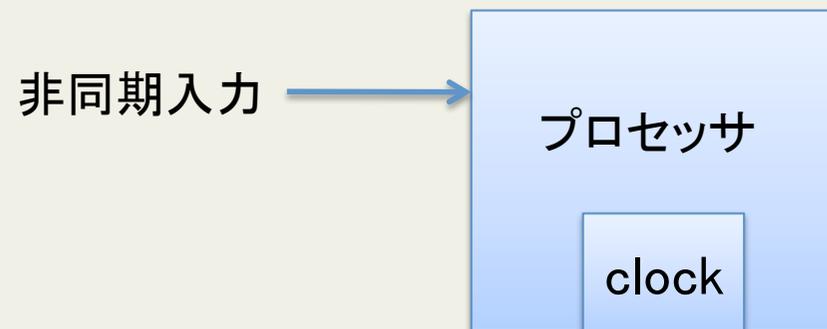
- 非同期式順序回路における定常性ハザード存在条件とハザードフリー構成
 - 南谷:”非同期式順序回路における遅延の影響とそのハザードフリー構成”、電子通信学会論文誌(D),Vol.58-D,No.7,pp.413-420 (July 1975).
- 非同期式順序回路のCritical Raceを回避する万能状態割当の組織的構成方法
 - T.Nanya and Y.Tohma, “On universal single transition time asynchronous state assignments,” IEEE Trans. on Computers, Vol.C-27, No.8, pp.781-782 (Aug. 1978).
 - T.Nanya and Y.Tohma, "Universal multicode STT state assignments for asynchronous sequential machines," IEEE Trans. on Computers, Vol.C-28, No.11, pp.811-818 (Nov. 1979).
- 順序回路を構成要素としてさらに大規模な順序回路を合成する階層的論理合成
 - 南谷:”機能モジュールによる非同期式順序回路の合成”、電子通信学会論文誌(D),Vol.60-D,No.2,pp.135-142 (Feb.1977).

永遠の課題：同期と調停

- 競合する要求の調停

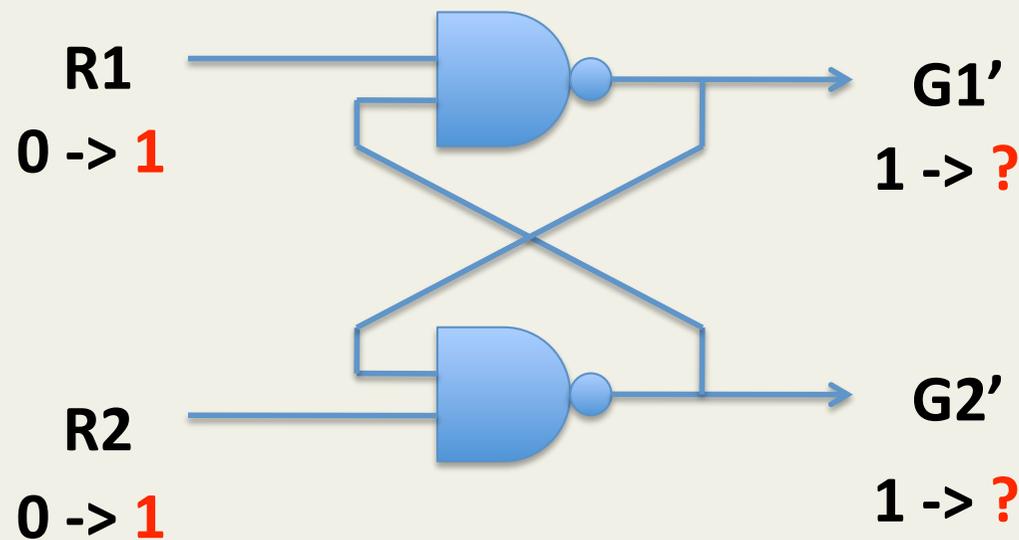


- 割込み入力の同期



アービタ: 米国へ特許出願

- 南谷、小池: "非同期式アービタの一構成法"、電子通信学会論文誌(D), Vol.57-D, No.4, pp.242-244 (April 1974).



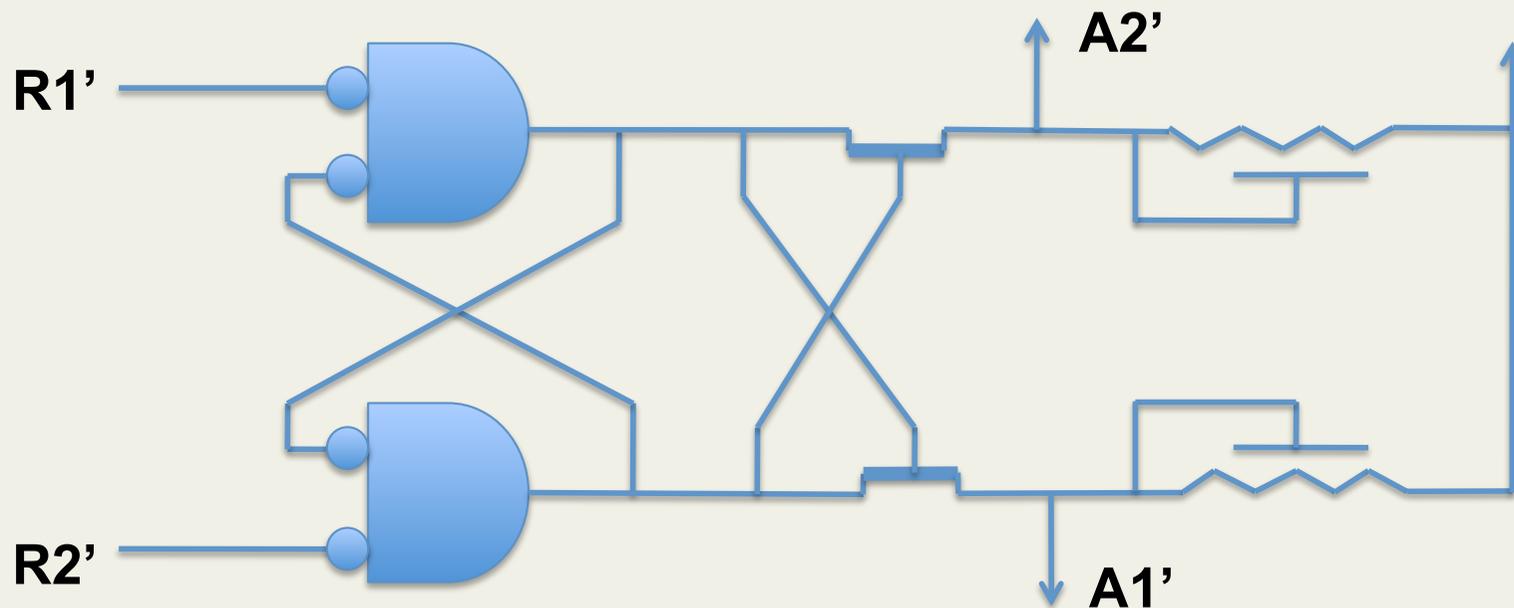
「早い者勝ち」の調停

しかし、メタスタビリティが、、、

- 入力が同時ならどうなる？
- 「コンピュータ設計者はあまり気がついていないようだが、同期回路や調停回路には論理的に定義できない変なことが起きるよ」
 - T.J Chaney & C.E. Molner: “Anomalous Behavior of Synchronizer and Arbiter Circuits”, IEEE Trans. on Computers, Vol.22, No.4, pp. 421-422 (April 1973)
- 「なかなか気づきにくいだが、NANDラッチにメタスタビリティは必ず起きて、しかも無限に続き得ることを証明できる」
 - L.R. Marino, “General theory of *metastable* operation,” IEEE Trans. Computers, vol. 30, no. 2, pp. 1082-1090, Feb. 1981

有名な教科書にも、、、

- Chuck Seitz: “Chapter 7 System Timing” in Mead & Conway: “Introduction to VLSI Systems” Addison-Wesley, 1980



偉人たち

- C.E.Shannon: スイッチング回路理論、標本化定理
- D.A.Huffman: ハフマン符号、非同期回路理論
- D.E. Muller: リードマラー符号、非同期回路理論
- I.E. Sutherland: Sketchpad、非同期パイプライン

スイッチング回路理論の起源

起源は我が国にあった！

- 1854年：George Boole “Laws of Thought”
- 1935年：中嶋章：「継電器回路の構成理論」 電信電話学会誌
 - 1月 新橋・電気クラブ講堂で3時間の講演
 - 9月 同学会誌に掲載
 - 「スイッチング回路の動作を支配する基本原理はブール代数である」
- 1938年：C.E.Shannon： “A symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits”

「スイッチング回路理論 --日本電気における起源と発展--」 日本電気文化センター 1989年7月

Programmable Logic Array (PLA)

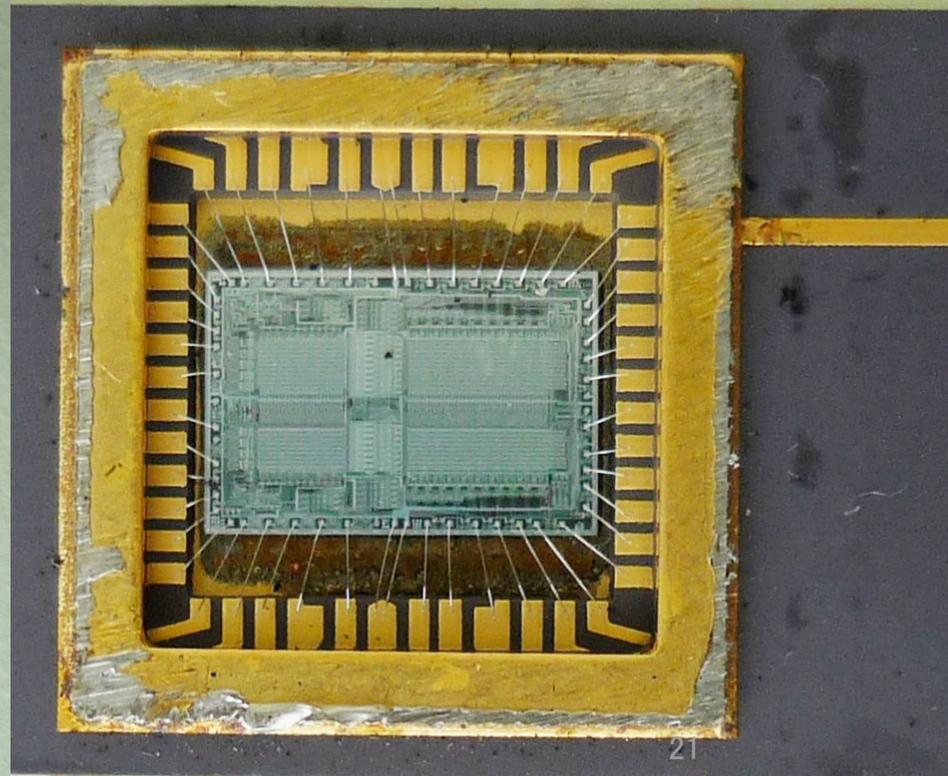
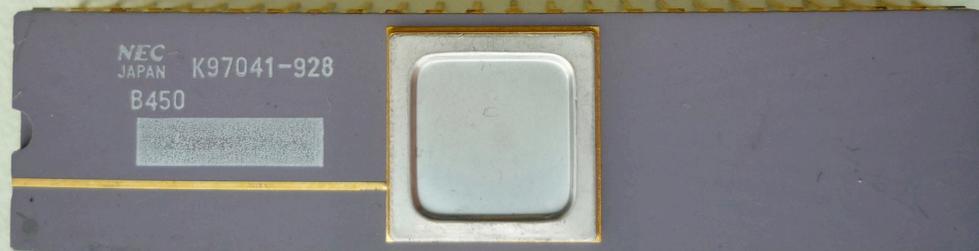
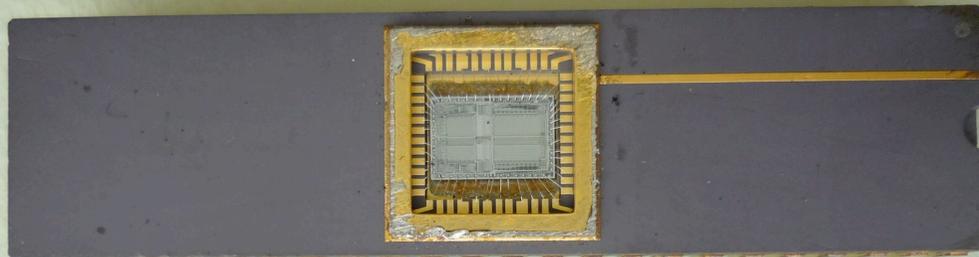
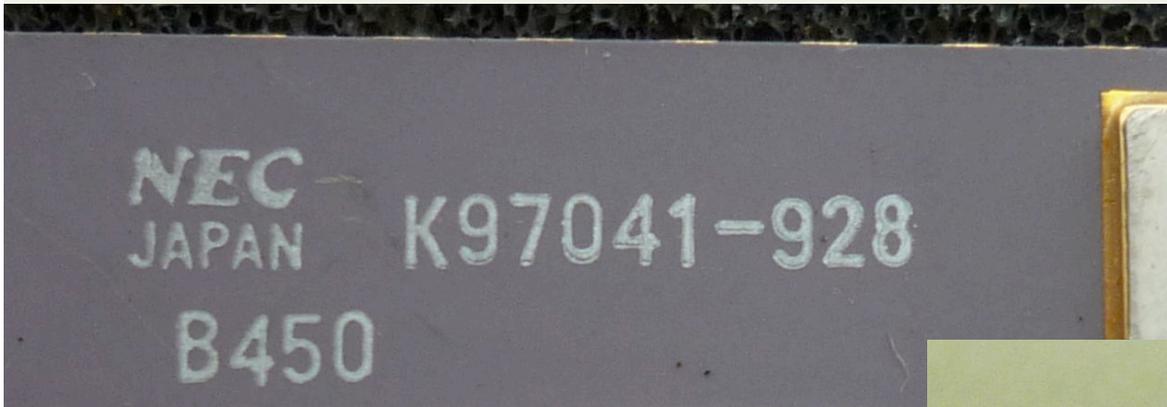
(1976~1978)

- ランダム論理を規則的なアレイ構造で実現
- 書き換え可能論理回路のさきがけ
- 多品種少量生産に対応する新しいLSI方式

- 論理設計CAD開発と応用分野を検討
- NTT武蔵野通研 => 日電集積回路事業部 => 日電中研
 - 南谷: PLAの使い方、産報出版 (Aug. 1978)

- => 最初で最後のNEC製品: “9216 bit FPLA” μ PB450D

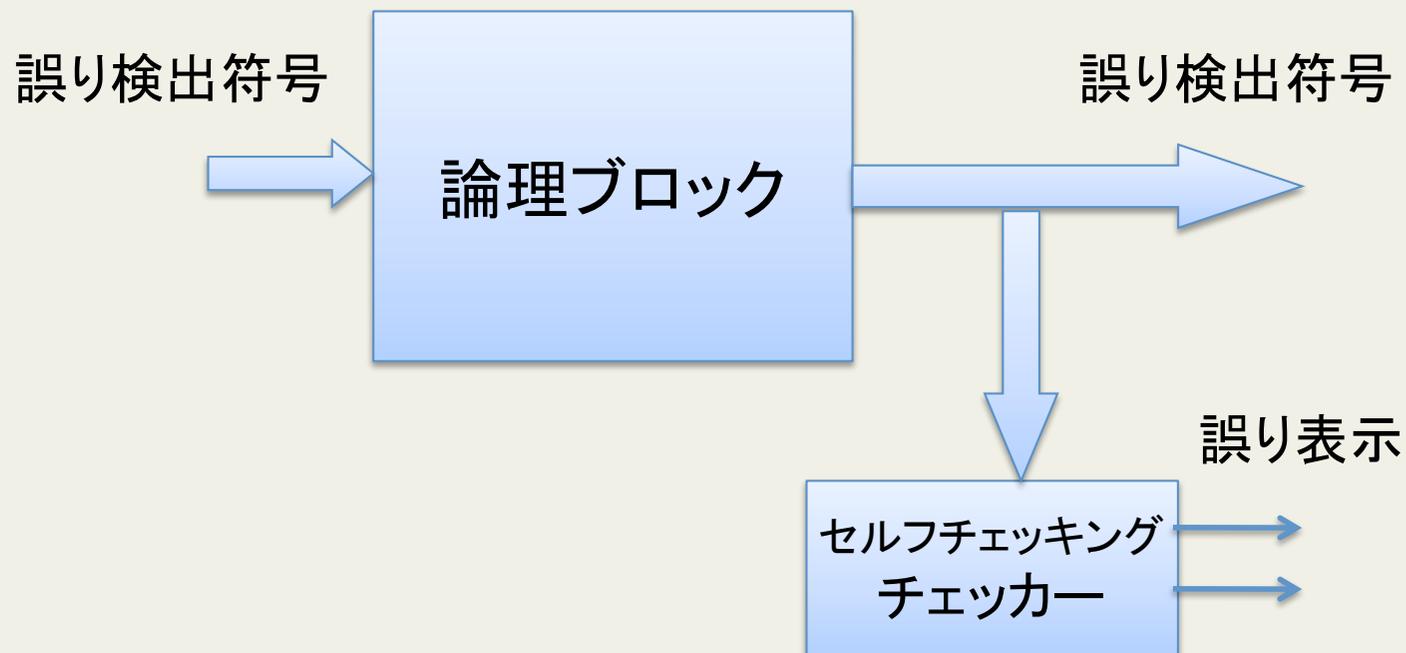
“9216 bit FPLA” μ PB450D



セルフチェック回路の構成

--- 自身の故障を自己検出する論理回路 ---

(1976 ~1983)



FTCS、東工大、Stanford Univ.

- 非同期式セルフチェックング順序回路の構成
 - T.Nanya and Y.Tohma, "Design of self-checking asynchronous sequential circuits," FTCS-10, pp.278-280 (Oct.1980)
- 1981.4 東工大・情報工学科へ移籍
- セルフチェックング・チェッカーの3段実現
 - T.Nanya and Y.Tohma, "A 3-level realization of totally self-checking checkers for M-out-of-N codes," FTCS13, pp.173-176 (June 1983)
- 1986.9 – 1987.7 Stanford Univ. (with Prof. Ed McCluskey)
 - T. Nanya, S. Mourad and E. J. McCluskey, "Multiple stuck-at fault testability of self-testing checkers," FTCS-18, pp.381-386 (June 1988)
- 当時、"Japan as Number One", インテルの危機、基礎研究ただ乗り論

セルフチェックングプロセッサ

(1983 – 1985)

- 新しい概念と構成方式の提案
 - **Error-Propagating**: すべての論理縮退故障は、一定サイクル内で必ず外部へ伝わる
 - **Error-Secure**: それまでは決して内部で不正な誤り状態を生じない
- インテルi8080をセルフチェックングプロセッサとして再設計
- T.Nanya and T.Kawamura, “A note on strongly fault secure sequential circuits,” IEEE Trans. on Computers, Vol.C-36, No.9, pp.1121-1123 (Sep. 1987).
- T.Nanya and T.Kawamura, “On error indication for totally self-checking systems,” IEEE Trans. on Computers, Vol.C-36, No.11, pp.1389-1392 (Nov. 1987).
- T.Nanya and T.Kawamura, "Error secure/propagating concept and its application to the design of strongly fault secure processors," IEEE Trans. on Computers, Vol.37, No.1, pp.14-24 (Jan. 1988).

再び非同期へ

- 1989年4月 東工大・電気電子工学科へ移籍
- 1989年6月 2つの衝撃
 - Alain J.Martin, et al. “The design of an asynchronous microprocessor”, Caltech Conf. on Advanced Research in VLSI, pp.720-738 (June 1989)
 - Ivan E. Sutherland, “Micropipelines”, C.ACM, Vol.32, No.6 pp. 720-738 (June 1989)
- 気が付いたら世界のあちこちで「非同期」研究
- 1990年 非同期システム研究を13年ぶりに再開

TITACプロジェクト

- 1994年2月 TITAC-1 完成

- 8ビットQDIプロセッサ、1.0 um CMOSゲートアレイ、22 Kトランジスタ
- T. Nanya, Y. Ueno, H. Kagotani, M. Kuwako, A. Takamura: "TITAC: Design of a Quasi-Delay-Insensitive Microprocessor", IEEE Design & Test of Computers, Vol.11, No.2, pp.50-63 (Summer 1994).

- 1997年2月 TITAC-2 完成

- 32ビットSDIプロセッサ、0.5 um CMOS スタANDARDセル
- ISSCC(サンフランシスコ)でのパネル討論「同期か非同期か？」の前夜に、東京の学生から「テストプログラムが動いた！」との国際電話
- T. Nanya, A. Takamura, M. Kuwako, M. Imai, T. Fujii, M. Ozawa, I. Fukasaku, Y. Ueno, F. Okamoto, H. Fujimoto, O. Fujita, M. Yamashina, M. Fukuma : "TITAC-2: A 32-bit Scalable-Delay-Insensitive Microprocessor", Symposium Record of **HOT Chips IX**, pp.19-32 (Aug. 1997)
- Akihiro Takamura, Masashi Kuwako, Masashi Imai, Taro Fujii, Motokazu Ozawa, Izumi Fukasaku, Yoichiro Ueno and Takashi Nanya: "TITAC-2: A 32-bit Asynchronous Microprocessor based on Scalable-Delay-Insensitive Model" Proc. ICCD'97, pp.288-294 (Oct.1997)

非同期式プロセッサ TITAC-2

- MIPS R2000プロセッサの非同期版

1997年2月に完成

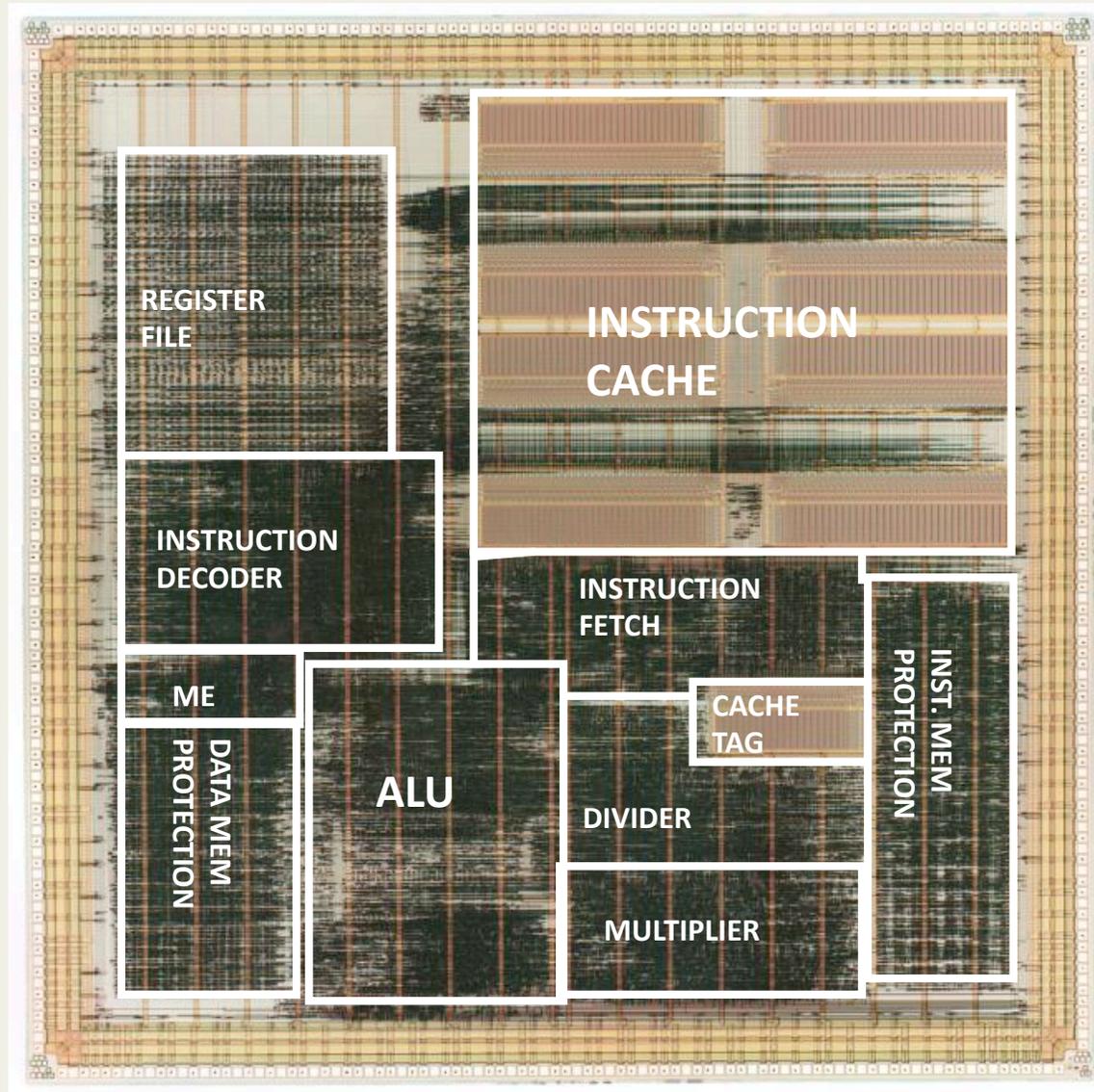
- アーキテクチャ

- IF, ID, EX, ME, WBの5段パイプライン構成
- 8KBの命令キャッシュ
- 40本の32ビット・レジスタ
- 例外処理機能
- 記憶保護機能
- 外部割り込み機能、

TITAC-2 チップ

- 0.5umプロセス技術, 3.3V電源
- CMOSスタンダードセル(3層金属配線)
- チップ寸法: 12mm x 12mm
- 496,367 論理トランジスタ + 8.6KBメモリ

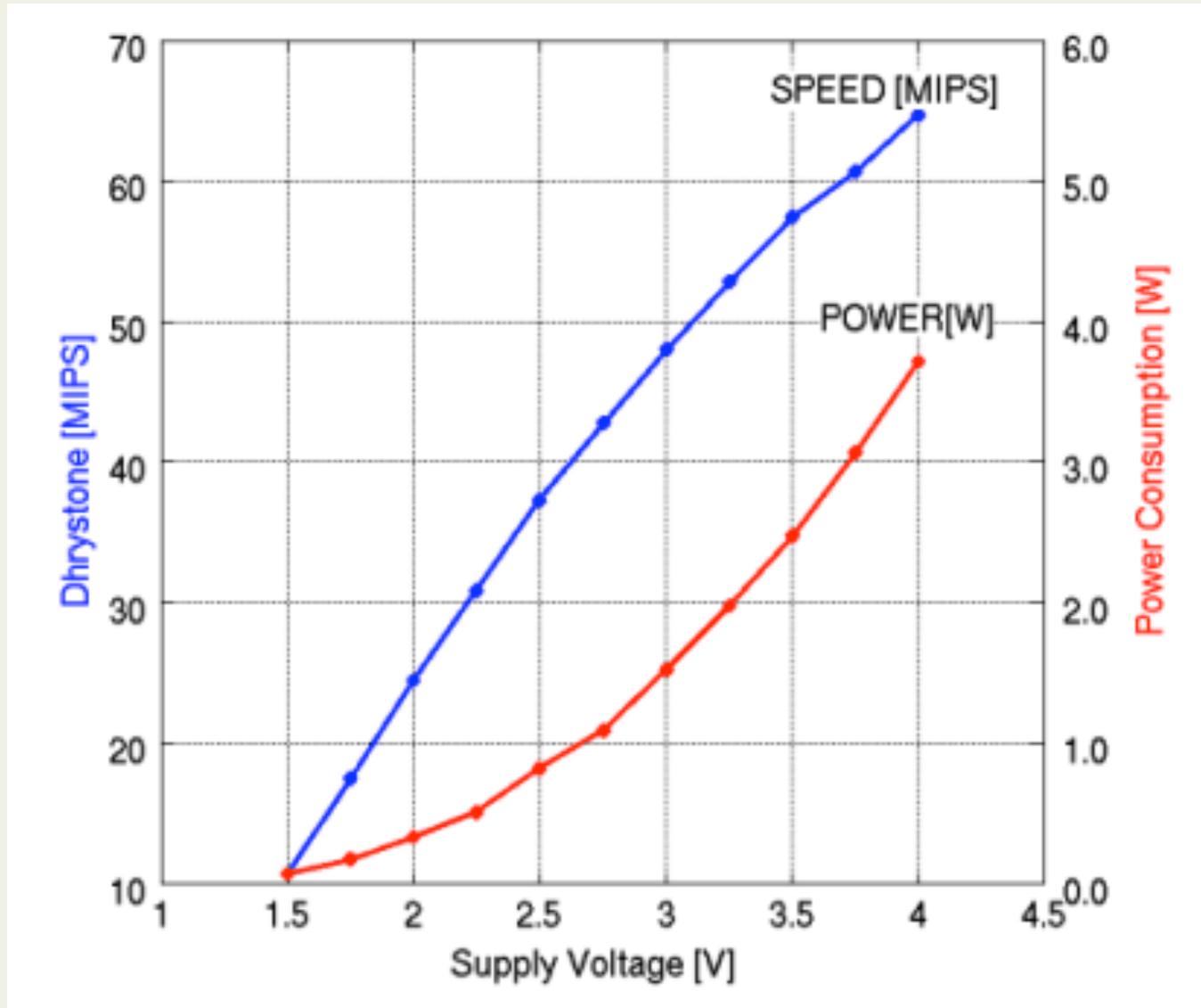
TITAC-2 チップ



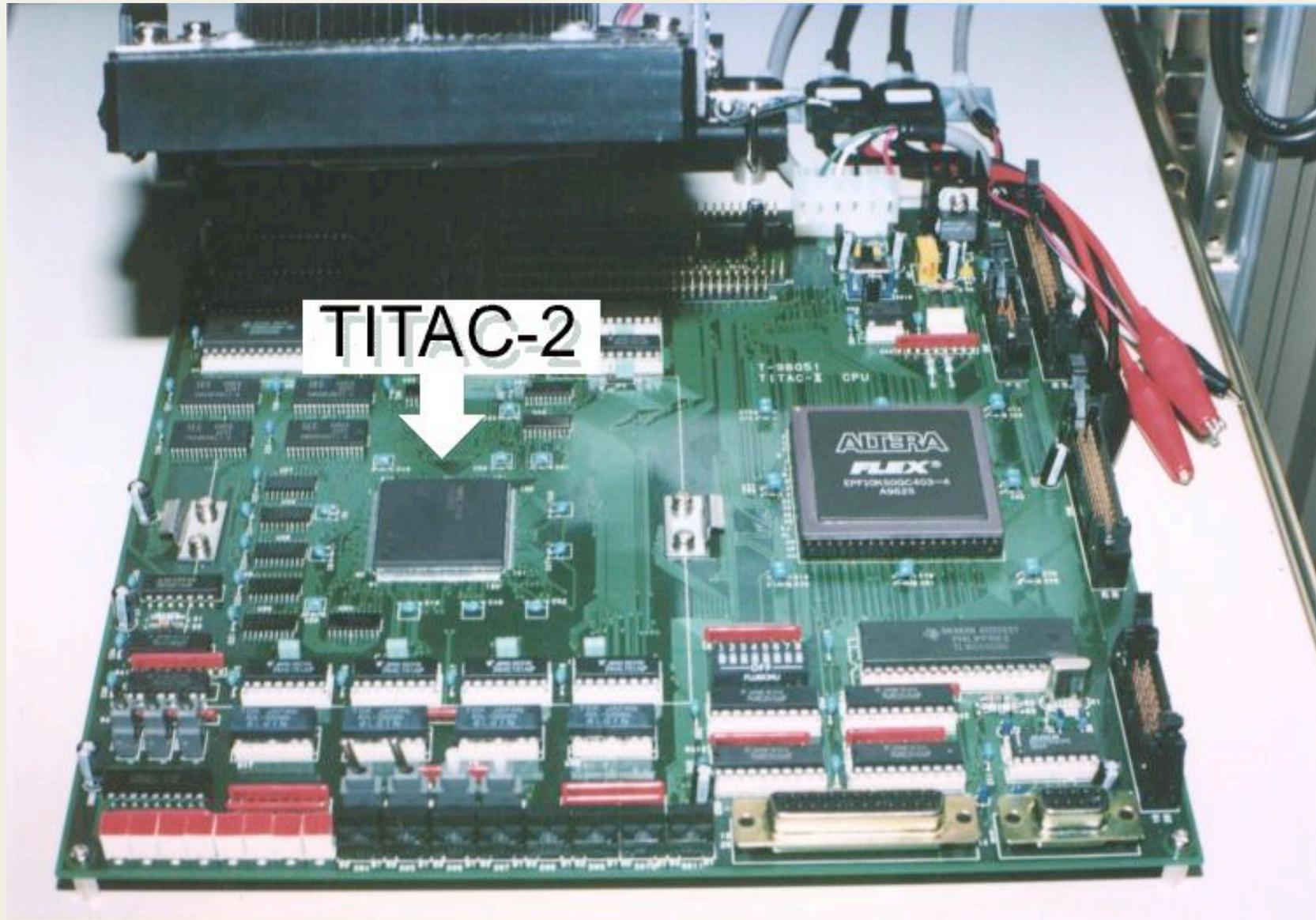
TITAC-2 の性能

- Dhrystone V2.1 ベンチマークで評価
- 電源電圧3.3V、室温で実測
 - スループット : 54.1 VAX MIPS
 - 消費電力 : 2.11W
- Delay-Insensitivity (確認済みの正常動作範囲)
 - 電源電圧 : 1.5V ~ 6.0V
 - 環境温度 : 摂氏 -196度 ~ +100度 (推定)

TITAC-2の性能と消費電力



TITAC-2 搭載ボード



東大計数を経て先端研へ

- 「南谷の専門は情報物理システムで、先端研に着任することを目的として東工大から本郷の工学部に移り、1996年に先端研に来ました。したがって、南谷は先端研の「第3世代」といえます。そして、南谷のセンター長への就任はいわゆる「外様」のセンター長が登場したという意味を持っています。 ----- 中略 ----- 2001年4月にセンター長になりました。ちょうど小泉純一郎政権の最初のころと運命をともにしているわけで、いわば小泉政権的な空気を持っていたといえます。」

(御厨 貴 編著 「東大先端研物語」 からの引用)

科学技術振興調整費
戦略的研究拠点(スーパーCOE)
「人間と社会へ向かう先端科学
技術オープンラボ」
2001年4月から5カ年

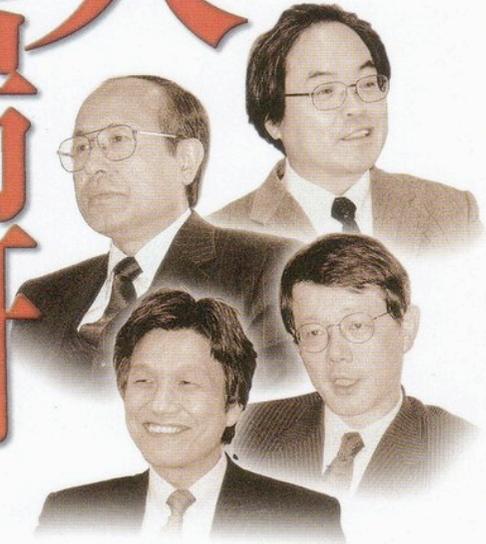
108件の応募から2件採択！
東大先端研
阪大工学系研究科

組織の長の優れた構想とリーダー
シップで研究開発機関の組織
運営改革を進め、国際的に魅力
のある卓越した研究拠点の創出
を目指す

挑戦続く 東大 先端研

経営戦略で
先頭ひた走る

宮本喜一 著
Yoshikazu Miyamoto



先端的な経営マネジメント! 先端的な研究分野!

役者はそろった!!

一流の研究者はなぜ集結するのか。法人化後の国立大は追いつけるか。

「変化こそチャンス」という先端研の姿勢、そして市場原理も取り込んだ「先端であり続ける」その手法と方法論は、法人化を模索する大学だけではなく、広く産業界・企業で活動する人たちにも大いに参考になるはず。本書はこうした先端研の取り組みを明らかにし、研究者像を含め、システム改革の実情をレポートする。

発行●日経BPクリエイティブ 発売●日経BP出版センター 定価[本体1714円+税]

34

システム改革

- 大部門制の廃止と、分野融合を促すクラスタ制の導入
- 経営(所長)と研究教育(教授会)の責任を分離
- 経営戦略室スタッフとして専門職人材の常勤雇用
- 学外有識者を過半数とする先端研ボードによる次期所長の決定
- 「契約による雇用」に基づく柔軟な教員人事制度 ⇒ 特任教員

特任教員

- 先端研で構想 ⇒ 東大評議会で正式承認、2002年4月から実施
- 外部資金による任期付きフルタイム雇用の教員
- 給与待遇は従来の教員より格段に高い
- 権利・義務は従来の教員と同等 ⇒ 教授会メンバー
- 狙いは、定員制約の克服、「選択と集中」による研究者集団の再編

- 法人化後の人事制度を睨み、東大教授全員が「特任教授になりたい」と思うような制度設計を目指した当初の構想は、必ずしも実現できず、、、
- しかし今では全国で「特任〇〇」として普及、但し矮小化された形態で、、、

最近の関心事

「変化する情報社会」のディペンダビリティ

今のままでは、情報社会は破綻する！
しかし、後戻りはできない！

以下の議論の一部は、
JST-CRDS戦略イニシアティブ「情報社会のディペンダビリティ」
2007年12月 (<http://crds.jst.go.jp/output/sp.html>)
から引用している

目指すべき情報社会

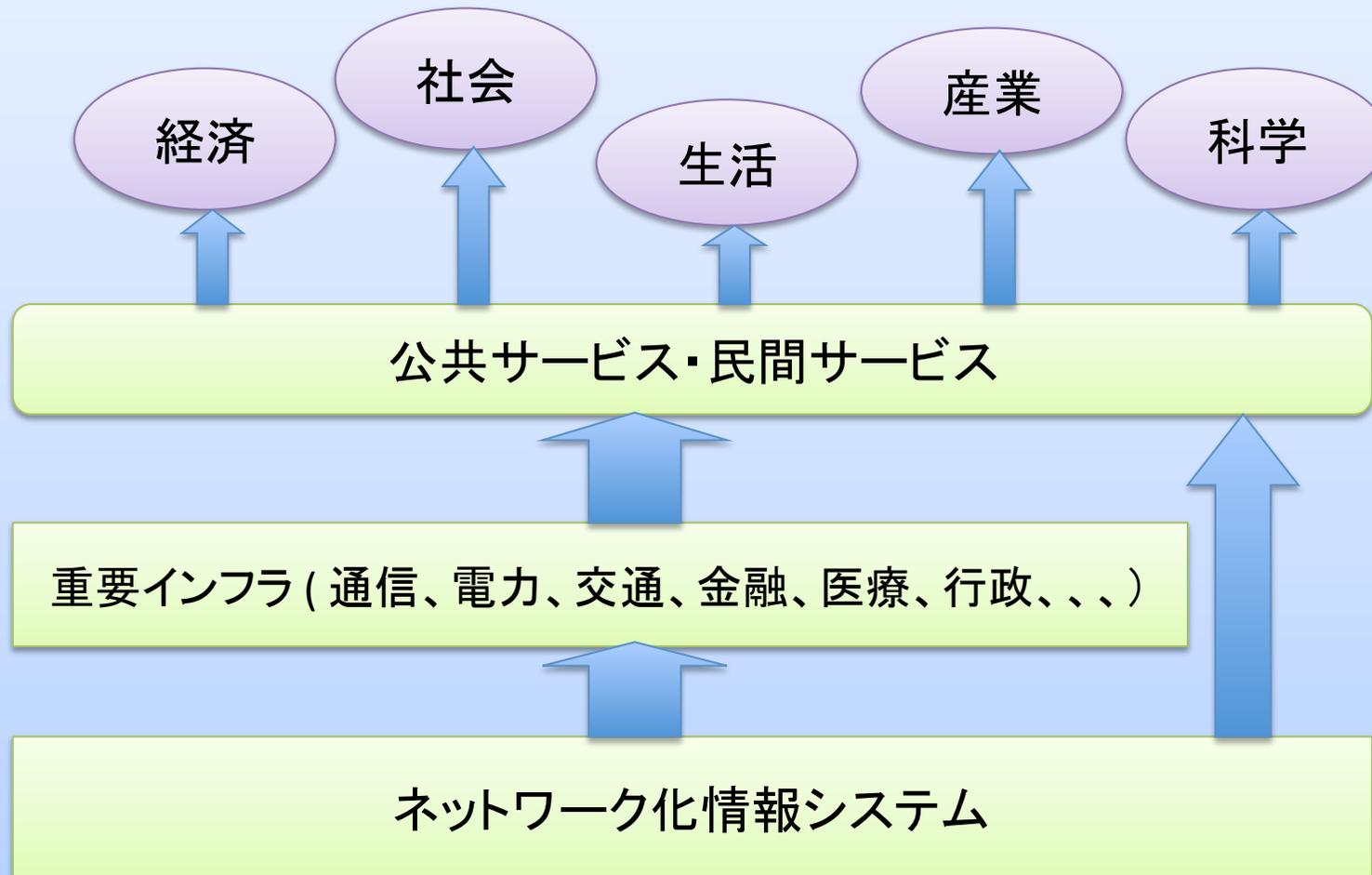
社会インフラや情報環境の提供するサービスの安全性と信頼性を確信し、
それに依拠して、人の安寧な生活、組織の十全な活動を展開できる
ディペンダブルな情報社会

研究課題

変化(技術進歩、環境変化、経年劣化、法制度改定)を前提とした
情報社会の安全と信頼を保証する
システムのアーキテクチャ、設計、運用

情報社会の構造

人と組織のあらゆる活動が情報システムに依存



情報システムのリスク要因

システム複雑化
ブラックボックス化
ソフトウェア巨大化
オープン化
VLSIの微細化・高集積化
ネットワークグローバル化
情報量の爆発的増加
サービスの多様化
利用者の拡大・多様化
責任所在の不明確化
人間系の不確実性

X

人・社会のリスク要因

人の過失
人の悪意
高齢化
知識偏在
世代交代
経年劣化
環境変化
社会変革
技術革新
市場競争
制度変更

=

フォールト(障害原因)

物理的フォールト
人為的フォールト
相互作用フォールト
不正アクセス
不正侵入



システム障害
重要インフラ事故
サイバーテロ
情報漏洩

情報システムの障害事例(1)

1) メガバンクのシステム障害

2002年4月1日、第一勧銀・富士銀・興銀3行の合併で誕生したみずほ銀行のコンピュータシステムに大規模な障害が発生

2) 東証の売買システム停止

2005年11月1日、東京証券取引所の売買システムに障害が発生し、午前の取引を全面的に停止

3) 東証の「1円61万株」誤発注事件

2005年12月8日、証券会社の株式売買担当者が東証マザーズ市場において、「1株61万円で売り」の注文を出すところを、誤って「1円で61万株売り」の注文

4) 東京航空交通管制部のシステム障害

2003年3月1日、東京航空交通管制部で日本上空の飛行計画を一括管理する飛行計画情報処理システム(FDP)に障害が発生し、全国の空港で、欠航215便、大幅な遅延1500便以上

5) 防衛省の情報漏洩

2004年頃から、政府機関、自治体、防衛省、警察、企業などの保有する機密情報、個人情報、P2Pファイル共有ソフトWinnyを利用したスパイウェアAntinnyに感染して個人用PCからネットワークへ流出する例が頻発

6) 全日空発券システムの障害

2007年5月27日、全日空の国内線予約・搭乗手続きシステムに障害が発生した結果、130便が欠航、306便が遅延し、8万人弱の旅行客に影響

情報システムの障害事例(2)

7) NTTひかり電話回線の障害

NTTグループのIP電話サービス「ひかり電話」に、ネットワーク・トラフィックの巨大化、システム複雑化に対応しきれない設計ミス、メンテナンス・ミスに起因すると思われる障害が各地で頻発

8)北東アメリカの大停電

2003年8月14日午後4時過ぎ、アメリカ合衆国、カナダにまたがる北東アメリカで世界最大規模の大停電が発生。アメリカ4000万人、カナダ1000万人の計5000万人が停電の被害を受けた

9) エストニア政府機関へのサイバー攻撃

2007年4月27日から約3週間にわたって、エストニアの大統領府や政府、国防省、外務省など多数の政府機関と主要な銀行や新聞社が猛烈なサイバー攻撃(DDoS)を受けて機能麻痺

10) 米国国防総省へのハッカー侵入

2007年6月、ペンタゴンのコンピュータネットワークにハッカーが侵入。ロバート・ゲイツ国防長官執務室の電子メールシステムを含む一部のコンピュータシステム停止に追い込まれた

11) ロサンジェルス国際空港入国審査システムの停止

2007年8月11日、米国LA国際空港の税関・入国審査システムが9時間にわたって停止し、その間、入国審査ができず、到着便の1万7千人以上の旅客が飛行機の中にそのまま最大で6時間も閉じこめられた

12) 首都圏JR、私鉄自動改札システムの障害

2007年10月12日早朝首都圏で、「Suica」を発行するJR東日本192駅と、「PASMO」を発行する私鉄、地下鉄の470駅で、始発から利用者が自動改札ゲートを通過できない広域の障害が発生

安全信頼保障の基礎概念

ディペンダビリティ

「提供するサービスが良質で信頼でき、人間と社会の活動が安心してそれに依拠できる」という情報システムの属性

自然現象、経年劣化、設計ミス、操作ミス、不整合など、偶発的に生じる物理的、人為的な障害原因(フォールト)の存在を前提とする

情報セキュリティ

「情報をその生産者、運用者、利用者が合意した意図のとおり利用できることを保証する」という情報システムの属性

悪意による意図的な不正アクセス、不正侵入の存在を前提とする

ディペンダビリティとセキュリティの関係

ディペンダビリティ

セキュリティ

偶発的

物理的
フォールト

人為的
フォールト

相互作用
フォールト

可用性 (Availability)
いつでも正常にサービスできる

信頼性 (Reliability)
正常なサービスを継続できる

安全性 (Safety)
ユーザや環境に破局的事態を起こさない

完全性 (Integrity)
システム状態に不適切(不正)な変異が生じない

機密性 (Confidentiality)
情報の不正な漏洩がない

保全性 (Maintainability)
システムを容易に修復・改良できる

悪意による

不正アクセス

不正操作

ディペンダビリティとセキュリティの相互補完

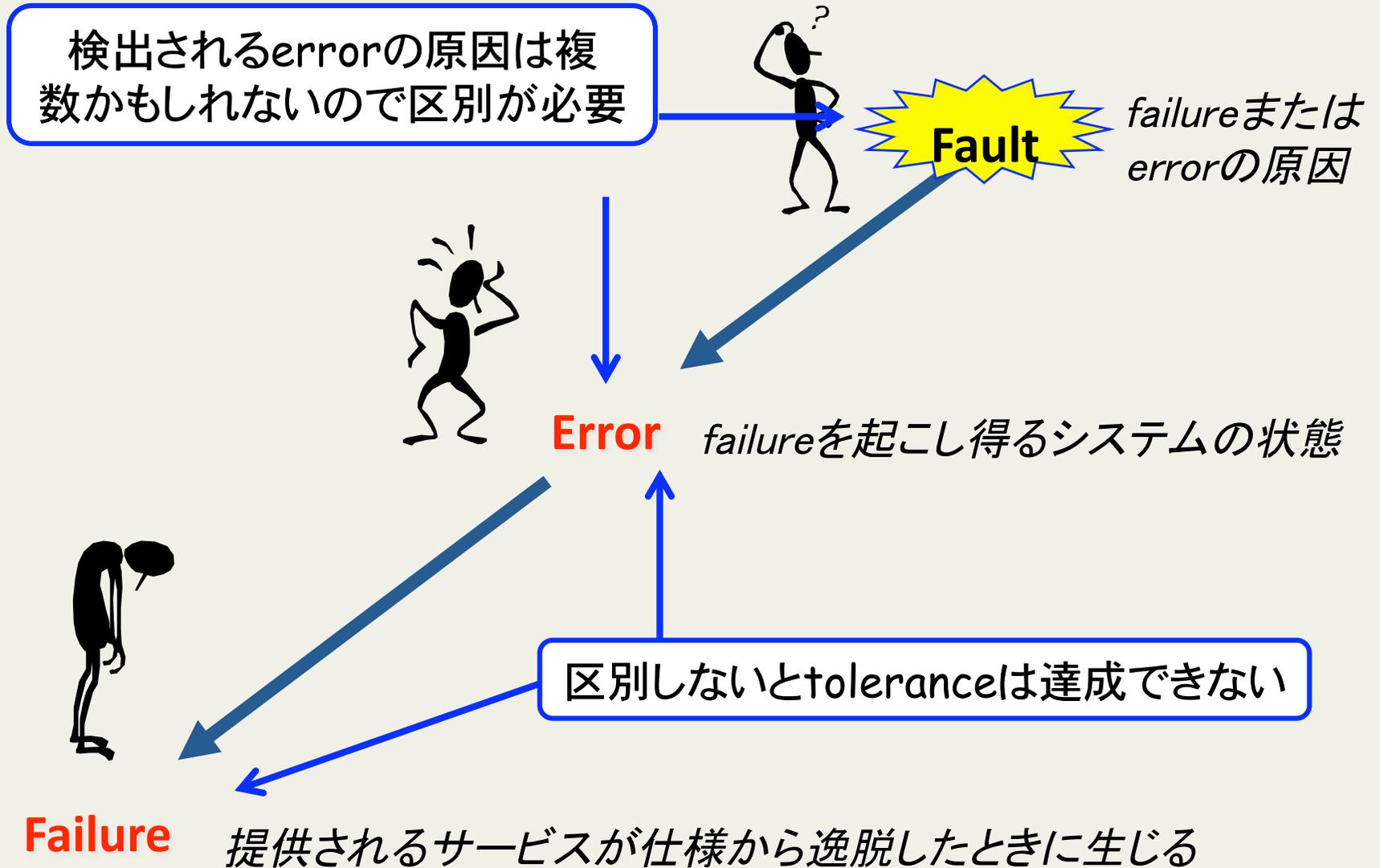
- 情報セキュリティ研究における基本的仮定：
 - 「秘密情報(鍵)は適切に管理されている」
 - 「情報システムは正しく実現されている」
 - しかし、操作ミスによる秘密情報漏洩の可能性、仕様ミス、設計ミス、実装ミスによる脆弱性発生の可能性は常に存在
- ⇒ 情報セキュリティ確保にはディペンダビリティ技術が必要！

- ディペンダビリティ研究における基本的仮定：
 - 「フォールト(物理的、人為的)の発生は偶発的である」
 - しかし、悪意ある人為フォールト(侵入、改竄)に偶発性はない
- ⇒ ディペンダビリティ確保にはセキュリティ技術が必要！

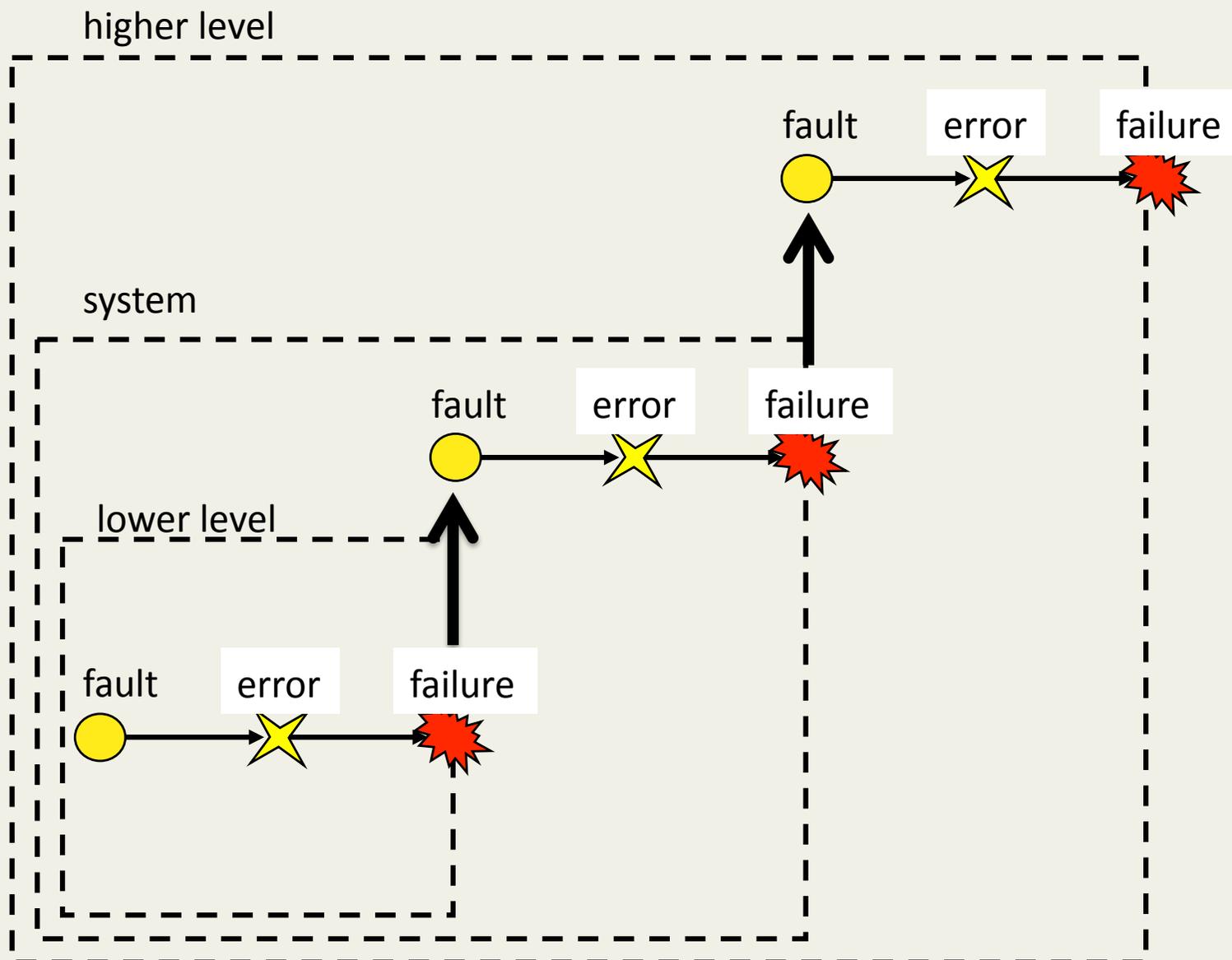
情報社会技術

- 情報社会の「安全」と「信頼」を確立するには、個別の情報技術だけではなく、広く社会システムに適用される**情報社会技術**としての視点が必要
- 重要インフラ(電力網、通信網、交通網、金融網など)の安全・信頼
- 「メトリクス」確立、評価技術、ベンチマーキング
- 「価値」の可視化、経済価値へのマッピング
- 社会安全保障、保険システム
- 監査、認証制度、政府調達基準、国際標準化
- 教育(情報倫理、情報法学、情報経済学、情報社会学など)
- 法・制度(情報犯罪、知財権、プライバシーと公的利益など)

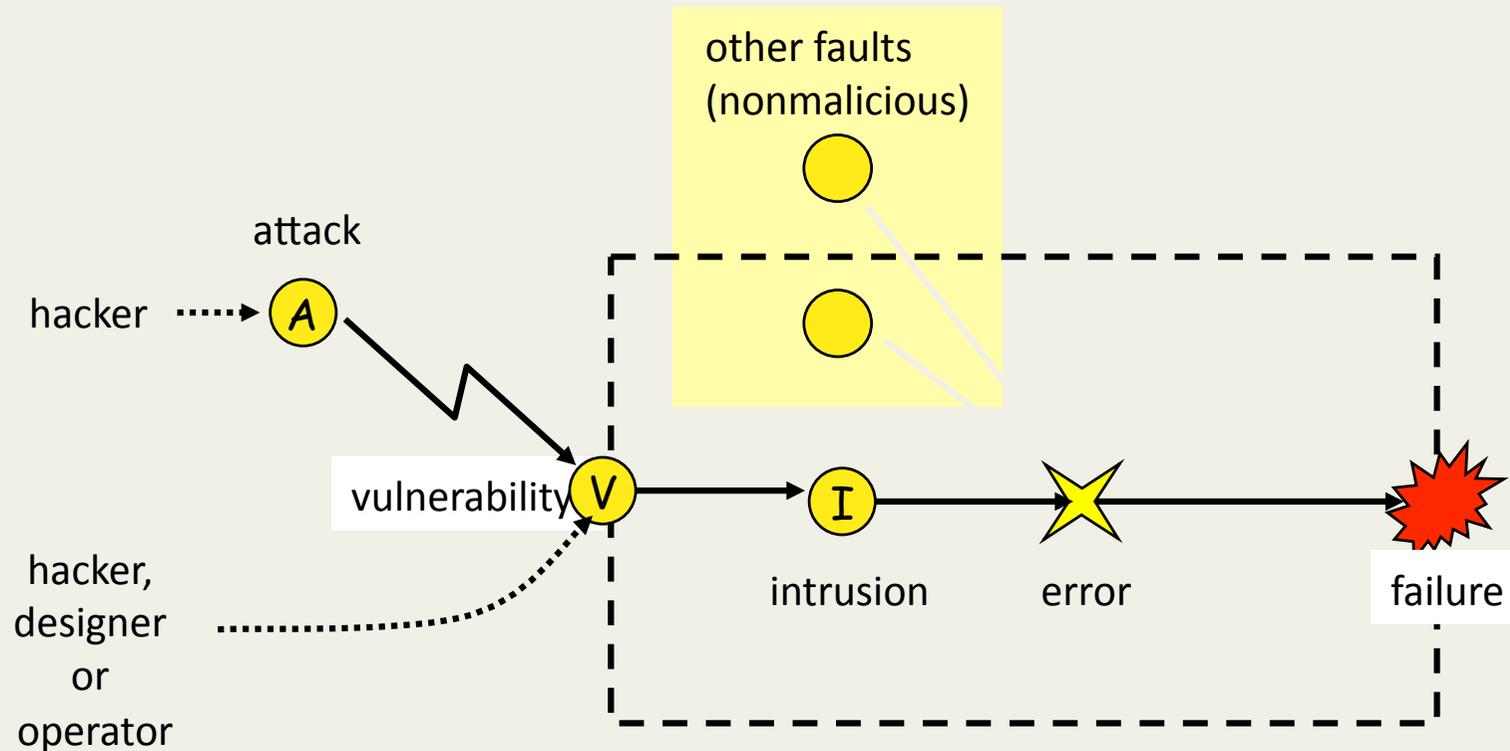
Dependability 障害要因の因果関係



フォールトと障害の再帰的關係

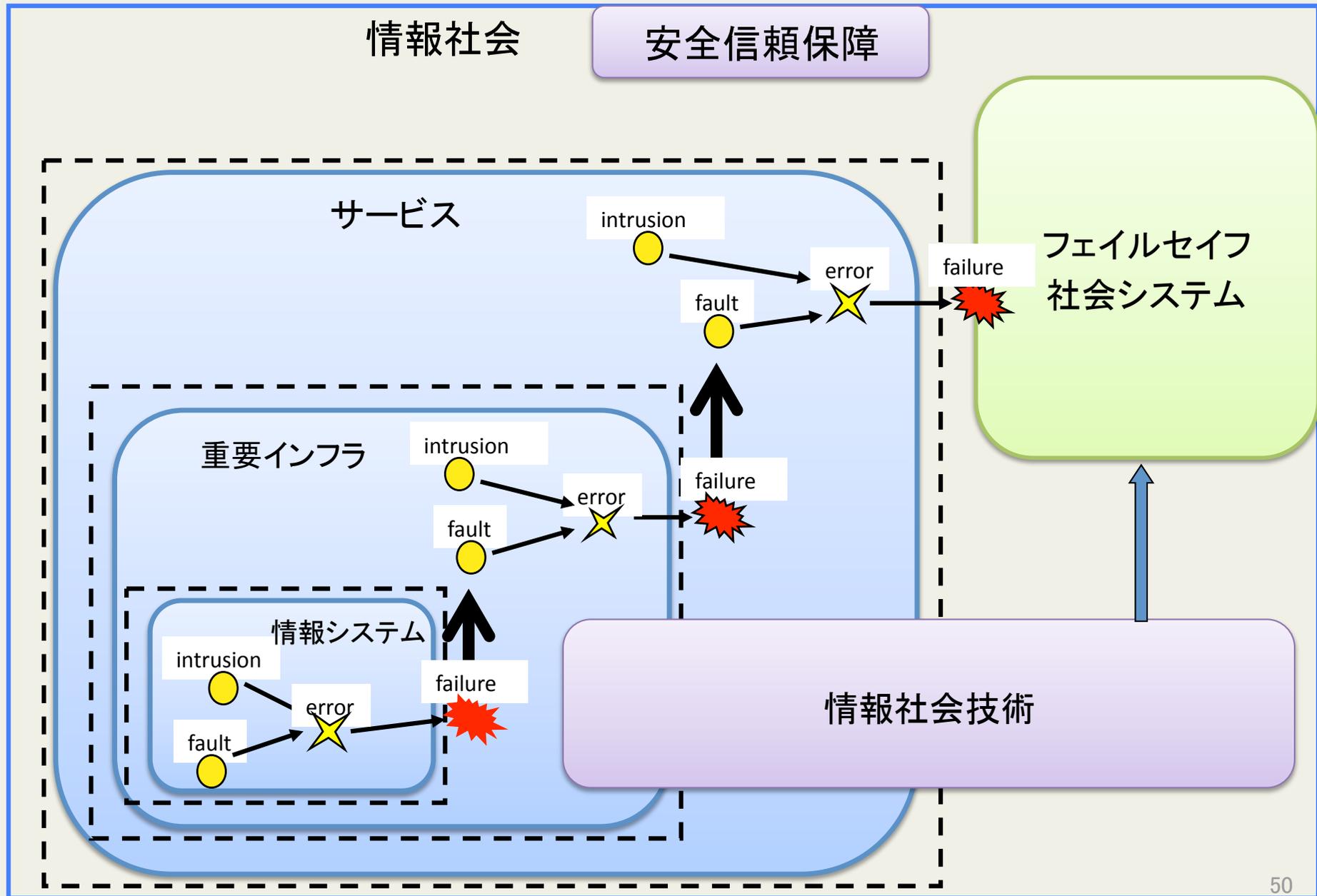


偶発的フォールトと悪意の侵入



- ❖ **attack** - 悪意の外部操作
- ❖ **vulnerability** - 悪意あるいは偶発的な仕様、設計、実装フォールト
- ❖ **intrusion** - Vulnerabilityを利用したattackによって創られた悪意の相互作用フォールト

4階層のディペンダビリティ・アーキテクチャ



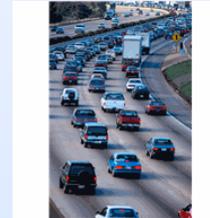
ディペンダブルな情報社会

情報社会

恒久的な安全信頼保障を確立する
情報社会技術・情報社会システム



経済



社会

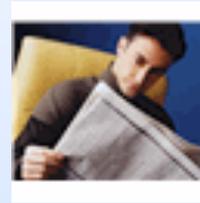


生活



産業

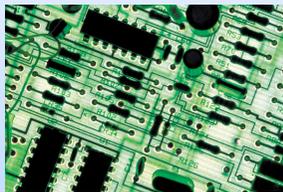
サービス・情報



重要インフラ



情報システム



ディペンダビリティを恒久的に維持・保証するアーキテクチャ

ライフサイクル・リスクを想定した一貫性ある設計・保全技術

ディペンダビリティの定量的評価と経済価値へのマッピング

新興・融合分野推進の提言

「変化する情報社会」のディペンダビリティ実現へ向けた
新しい学際分野「情報社会技術」はひとつの例

以下の提言は、
科学技術研究機構・研究開発戦略センター「新興・融合分野研究検討報告書 ～社会の課題解決と科学技術のフロンティア拡大を目指して～」
2009年2月発行（<http://crds.jst.go.jp/output/rp.html#2-4>）
に基づいている。

新興・融合分野はなぜ必要か？

- 現代社会の複雑な課題への対応
 - 地球環境、自然災害、ディペンダビリティ、経済、医療
- 日本の国際競争力の強化
 - 「地球規模の課題解決」、「社会の安全保障」、「健康と福祉」は産業競争力、国際的リーダーシップに直結
- 学術上の必要性
 - 既成の学術分野は細分化 ⇒ 要素科学、要素技術
 - 課題の総合的解決へ向けた「学の融合」が必要

例えば、次のような難問は？

- 地球環境変動の予測、影響評価、予防戦略
- 自然災害の予知、被害予測と対策、復旧戦略
- 疫病の病原・伝染経路の解明、広域治療、復旧戦略
- 生命現象の解明と重大疾患の予防・治療
- 精神現象の解明と障害の予防・治療
- エネルギー・食糧・水のグローバル安全保障
- 重要インフラの持続可能性とリスク管理
- 経済の信用・危機管理と市場安定化戦略
- ネットワーク治安とサービス・情報の安全信頼保証
- 新機能材料の合成と健康・環境・情報への活用

これから必要な融合分野

- 巨大データの取り扱い

- 巨大データの計測、分析、計算、可視化、信頼性保証、知識発見、事象予測

- 人間の心理・行動の理解

- 不確定性を有するシステム(情報、経済、社会、政治)の要素である人間の心理・行動の理解、計測、分析、モデリング、検証、制御、評価、予測

- 進化・変異への対応

- 自然、人間、社会の進化過程、変異過程、劣化過程の理解、計測、分析、モデリング、適応制御、最適設計、予測、回復、若返り

- システムの複雑性の克服

- 多層性、相互依存性、不確定性を有するシステム(情報、経済、社会、生物、自然)の振舞いの理解、モデリング、システム設計、リスク管理、検証、保全

社会ビジョン／社会ニーズ(サービス)

社会の難問

環境変動

疫病伝染

精神現象

インフラ

サービス
情報

自然災害

生命現象

エネルギー、
食糧、水

経済現象

新機能材料

融合分野

進化・変異
への対応

巨大データ
の取り扱い

人間の心理
・行動の理解

システムの
複雑性克服

基盤分野

工学

医学

自然科学

数理科学

情報科学

社会科学

人文学

融合分野推進への大学の課題

- **研究システムの改革**
 - 運営、研究・教育、人事における縦割り構造の一掃
 - 「学の融合」への大きなうねりを作り出す土壌作り
- **研究者のインセンティブ強化の仕組み**
 - 若手研究者を評価・育成する教員選考、人事制度
 - キャリアパスの明示
- **魅力的な研究課題の設定**
 - 研究者の挑戦意欲をかき立てる課題設定
 - 2代目が帰属意識を持てる分野に

融合分野推進への社会の課題

- **課題解決型の科学技術研究への評価**
 - 必要性に対する社会からの意思表示と正当な評価
 - 社会全体の人事流動性を高める制度と意識改革
- **科学技術研究と政策、産業との連携**
 - 研究に同期した社会システム(法制度等)のインプリメンテーション
 - 新興・融合研究の帰結が産業競争力強化であることの認識と投資
- **初等中等教育、社会人教育**
 - 自然・社会・人間と科学技術の関わりを初等中等教育に導入
 - 高校や大学で理系・文系の区別のない教育カリキュラムの実践

行政・ファンディング機関の課題

- 「課題解決へ向けた学の融合」のメッセージの継続的発信
- 融合領域開拓と研究者コミュニティの誘導・育成を目指した研究助成
- 既成の学術分野別の縦割り行政を当然視する土壤の改良
- 分野別自律型研究と課題解決型融合分野研究を並行推進する体制へ科学技術行政を転換するべき
- 第4期科学技術基本計画で具体的な考え方を示し、課題解決へ向けた「学の融合」を推進する積極的施策を講じるべき

世界一を目指さなくて良いか？

- 政策担当者あるいは有識者曰く：
 - ITは民間に任せればよい。今更国が投資する必要はないのではないか。
 - ITはもう成熟している。新規の研究課題など無いのではないか。
 - ITは便利に使いこなすべきツールに過ぎない。研究対象ではない。
 - ITを今からやっても米国には勝てない。輸入すればいいのではないか。
- なぜこうした議論が我が国だけ起きるのか？
 - 情報技術を「IT」と略称したことが間違い！
 - 略称によって概念が記号化し、思考停止に陥っている！

JSTサイエンスポータル(<http://scienceportal.jp/reports/strategy/1002.html>) から引用

社会の期待

- 「持続可能なシステム」の実現
 - 自然システム、生命システム、社会システム、経済システム、産業システム、情報システム、人工物システム
- 情報とは
 - システムを構成する要素
 - システムの構造と作用を表現する媒体
 - システムが提供するサービス
- 情報技術とは
 - 情報を対象とした計算と通信によって創出されるサービスを表現、実現、分析、評価、最適化する学問から産み出される果実
- 「情報技術による課題解決」と「情報技術の課題解決」

社会の期待と課題

科学の難問

計算物理、計算化学
計算生物学、脳科学
生命現象、精神現象

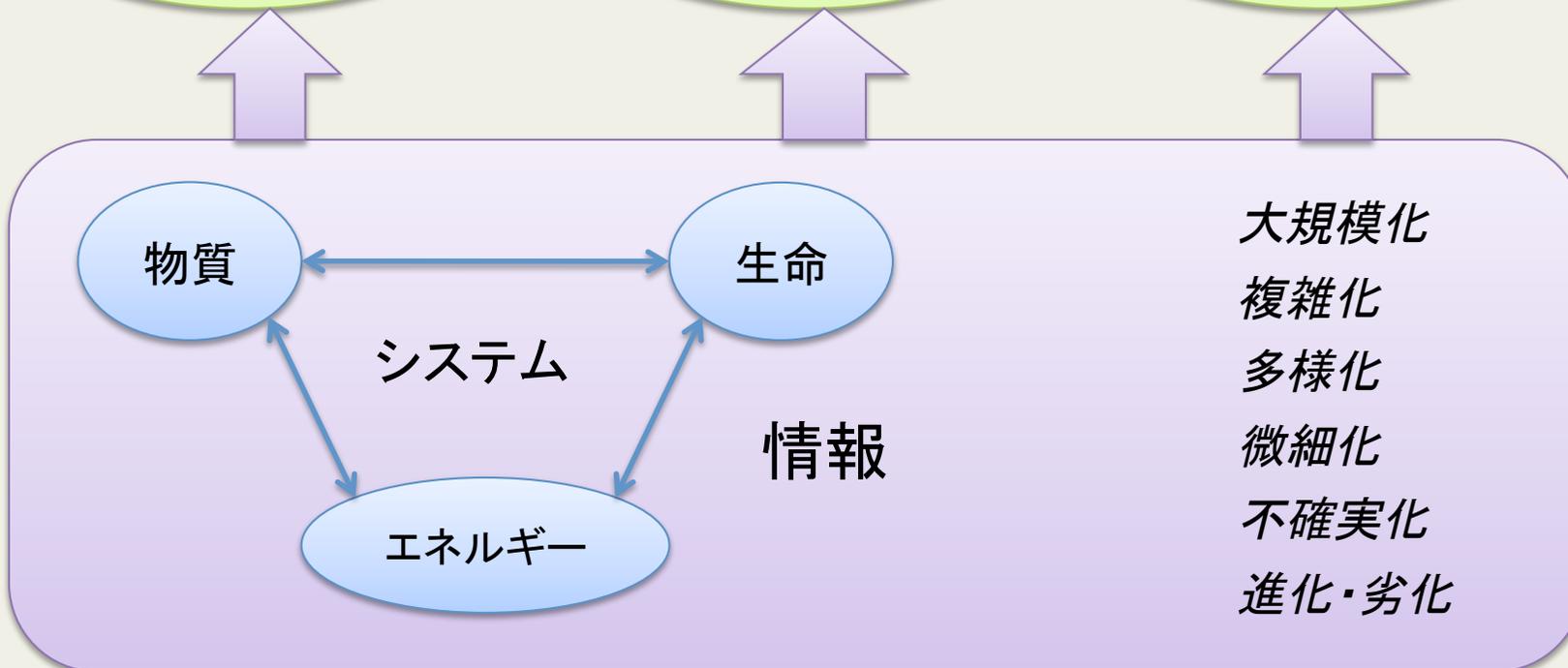
地球の難問

環境変動、自然災害
疫病伝染、物質循環
低炭素、生物多様性

社会の難問

安全保障、都市基盤
経済市場、犯罪・テロ
サービス・情報

情報技術による課題解決



情報技術の課題解決

科学技術創造立国の駆動力

- 情報技術による課題解決：
 - 地球規模の難問、社会の難問、基礎科学の難問
- 情報技術の課題解決
 - システムの大規模化と複雑化、情報とサービスの多様化、オープン化、VLSIの微細化、人間行動の不確実性、技術と環境の進化・劣化、などへの対応
 - 変化に適応できる「持続可能なシステム」のアーキテクチャと設計技術の確立
- スパコンは典型例
- スパコンは世界一を目指す必要はないか？
 - 世界一を目指さなければ2位にも3位にもなれない
 - 国家の安全保障を左右する最先端情報技術は輸入できない
 - なによりも次世代の科学技術を担う人材が育たない。

最後にもう一度

- 青空高く、雲雀が声をかぎりにはさえずり歌うとき、
- そそり立つ樅の木の新高く、鷺が翼広げて弧をえがくとき、
- 海を越えて、鶴がひたすら故郷めざして飛び渡るとき、
- それを眺めるわれらの心も空高く前へ前へとはやりたつのは、
人間誰しも生まれついでての思いなのだ。

• --- ファウスト

長い間、ありがとうございました