

「自動車向け半導体ビジネスと将来展望」
～自動運転の先に見える将来像～

車載用IC: 回路研究者へのアンチテーゼ

群馬大学大学院 理工学府 電子情報部門

小林春夫

koba@gunma-u.ac.jp



Kobayashi
Laboratory



群馬大学
GUNMA UNIVERSITY

パネリストポジション： 言いたいことを言う

曲学阿世 たることなかれ
「正学を務めて以って言い、
学を曲げて以て世におもねることなかれ」
(史記)

正しい学問を学んで言うべきことを言い、
学問を曲げて世間におもねることをしては
ならない

パネリストポジッション：「日本」の立場から

その人の考え方は

「どこから給料をもらっているか」に規定される

— 経済は社会の下部構造 —

- **国立大学教員**：
「日本」「自分の大学」のことを考える。
- **桐生市役所**：「桐生市」のこと
- **群馬県庁**：「群馬県」のこと
- **日本政府**：「日本」のこと
- **日本企業**：「会社」「業界」「日本」を考える。
- **外資系企業**：「日本」「国」の概念は希薄。

発表内容

- **起:** 回路研究者への問題提起
- **承:** 車載IC指向の研究の取り組み
- **転:** 産官学 光と影
- **結:** 回路研究発展に向けて

発表内容

- **起:** 回路研究者への問題提起
- 承: 車載IC指向の研究の取り組み
- 転: 産官学 光と影
- 結: 回路研究発展に向けて

回路設計学会はアイデアの宝庫

電子回路

- 物理(電圧、電流、電力、電磁気、電気回路)
- センサとのインターフェース
- 電子デバイス(能動素子、受動素子)
- 数学(組合せ、非線形性、電流式)
- 芸術・職人技 (美しい、綺麗)
- 位相(回路トポロジ)
- 幾何(レイアウト)
- 制御工学・計測工学
- モデリング、シミュレーション

様々な技術の交流スポット



中国 廈門市
古くから東西文化の交流の地

学会に参加すると
卒論、修論のネタを
思いつくこと多し

「精神は自然に超越する」ヘーゲル

回路設計は自然科学に超越する

が、回路研究に何か欠けている

自動販売機メーカーの技術者

「**広い範囲の温度で電子回路の特性保証する必要あり。**
学会論文・発表で少しでも温度特性に言及していると
少しは信用する気になる。」

沖縄の炎天下



北海道の氷点下



温度特性を調べてなければ信用できない

電子回路研究への批判

回路系学会で足りないもの

PVT変動の影響に加えて

- 経年変化
- 信頼性・冗長性・安全性
- 歩留まり
- コスト
- テスト容易化・診断
- チャンピオンデータだけでなくワーストケースデータ

車載ICで
重要性が
顕著に

:



LSIテスト関係、品質工学、失敗学 等に関心を持ち始める

半導体産業でのカジュアルとエレガンスの波

- 「**カジュアル**(気軽: 低価格)と
エレガンス(優美: 高品質)の波が交互に来る」
(ファッション業界者)
- 半導体産業

大型コンピュータ



エレガンス

PC 民生用



カジュアル

車載



エレガンス

車載ICでは 高品質とともに低価格は必須

「事物は螺旋的に発展する」 (ヘーゲル)

電気工学に風が吹いている

- かつて「群馬大学工学部電気電子工学科」では
電子工学コース → 圧倒的人気
電気工学コース

名前だけ異なるだけで、内容は全く同じであったのに。。。

- 現在
 - 日本は半導体分野では微細ではなくパワー半導体に強み
 - 電源回路関係に多くの学会参加者
 - 電子工学関係は学会参加者数が少ない
 - 「電気工学寄り」テーマの講演会の出席者数が多い

電子工学に加え電気工学に風が吹いている

アプリの物理的サイズ

- 機械系(自動車、航空機)と電子系(半導体、スマホ)
→ 感覚が違う

- サイズ: 体積は3乗、表面積は2乗、周囲長は1乗

- 織田信長 鉄の船(鉄甲船) サイズ大

- MEMS(マイクロ流路等) サイズ小

- 集積回路チップ

面積 2次元増加

周囲長(ピン数) 1次元増加

- 微細半導体 周囲長の影響大



信長の鉄甲船

鉄(重さ)はサイズの2乗
浮力(体積)は3乗



サイズを大きくすると浮く

発表内容

- 起： 回路研究者への問題提起
- **承：** 車載IC指向の研究の取り組み
- 転： 産官学 光と影
- 結： 回路研究発展に向けて

車載用IC: ppm から ppb へ

Automotive IC : Low quality = Out of business

不良率

ppm: parts per million (百万)

ppb: parts per billion (十億)

出荷製品が一定以下の不良レベルになるようにするためには

歩留まりを上げる

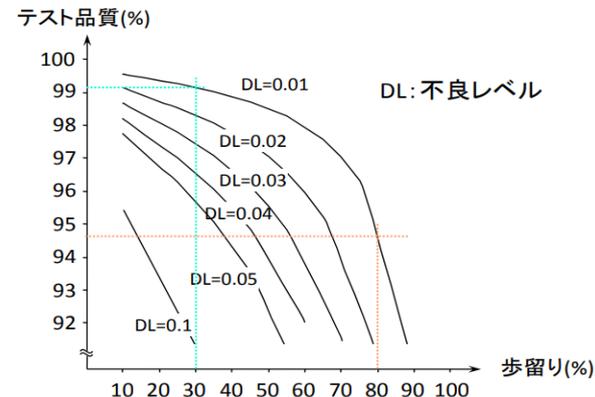
テスト品質を上げる

➡ 両方が必要

群馬大学 客員教授 畠山一実先生
講義資料より

テスト品質と不良レベルの関係

歩留りが下がると高いテスト品質が必要になる



アナログ回路のテストの課題

- アナログ回路の仕様ベーステスト
 - デジタル 故障しているかどうか (Functional Test)
 - アナログ 加えて 性能がでているか (Specification Test)
- アナログ回路の欠陥・故障ベーステスト (Structured Test)
 - アナログ回路は冗長・ロバストな構成
 - 故障しても正常動作
 - 仕様ベーステストだけでは、故障を検出できない。



故障ベーステストで効率的に検出

- 適切なアナログ故障モデルがない

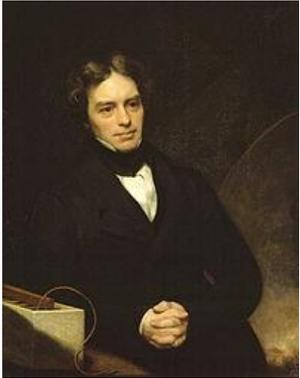


故障検出率の定義が難しい

- アナログ回路は汎用のテスト容易化回路がない

車載ICで
テスト技術が
重要に！

センサとアナログ回路



マイケル
ファラデー
1791-1867
英国
化学者
物理学者

英国ロンドンのテムズ川の流速を電磁流量計の原理で
測定を試みる。(磁界は地磁気を利用)

出力電気信号が非常に小

フィルタリング・増幅する電子回路がない



測定不可

自動車に
多数の
センサ

電磁流量計の動作原理

- ファラデーの法則
起電力 \propto 流速

$$E = D \cdot \bar{V} \cdot B$$

E : 起電力(V)
 D : 管内径(m)
 \bar{V} : 平均流速(m/s)
 B : 磁束密度(T)



- フレミングの右手の法則



Michael Faraday /
Bonaventura Thurlemann 1941

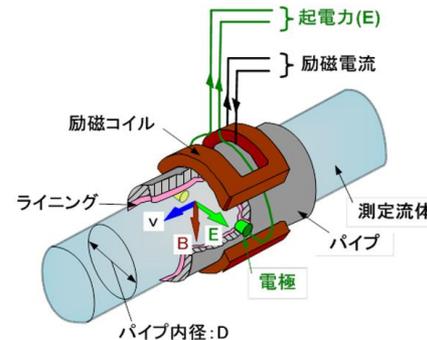
電磁流量計の動作原理

- 起電力 $E(V)$
 $E = D \cdot \bar{V} \cdot B$
- 体積流量 $Q(m^3/s)$

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot \bar{V}$$

- 起電力と体積流量の関係

$$E = \frac{4}{\pi} \cdot \frac{B}{D} \cdot Q$$



低速・高分解能AD変換器のテストの課題

低速・高分解能AD変換器(デルタシグマ型、SAR型)

センサ+アンプ+ ADC + マイコン

量産出荷時テストの4つの課題

- 低速サンプリング 長いテスト時間
- 高分解能 コード数多し ➡ 長いテスト時間

テスト用高線形アナログ入力信号

ADCテスト出力信号処理が複雑

1ドル(100円)のチップでテスト時間1秒が目安

時間デジタイザ回路 (TDC)

課題

ICの微細化/低電力化



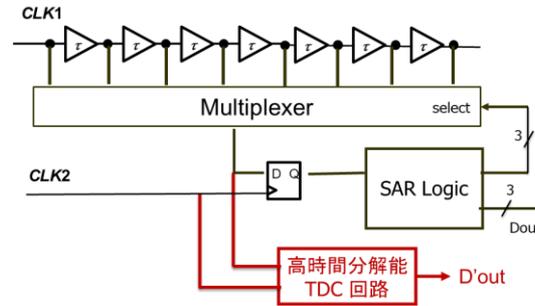
回路の電源電圧低下



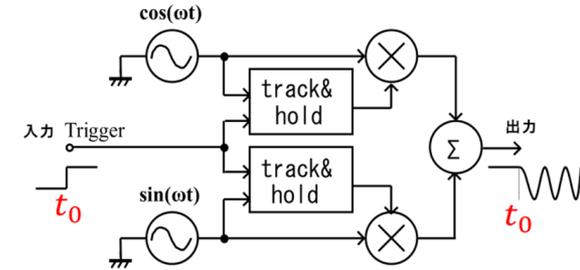
電圧分解能の限界

提案

TDC: アナログ信号を電圧軸から時間軸へ
新規回路の提案 回路のデメリットを解決



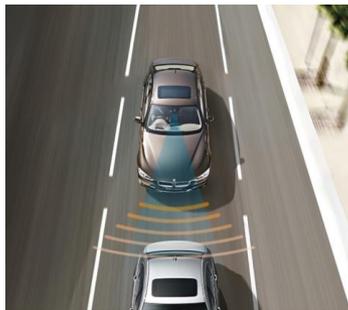
2step SAR TDC



トリガ回路

応用

- センサインファーフェース
- タイミング試験・計測



BMW AG CO.,LTD.

自動車



JAXA Digital Archives

宇宙



SIEMENS CO.,LTD.

医療

セキュリティ

トロージャン(トロイの木馬)

ハードウェア ウィルス

設計、製造、流通過程で埋め込まれる

特定コードを受けると起動
システムに打撃を与える

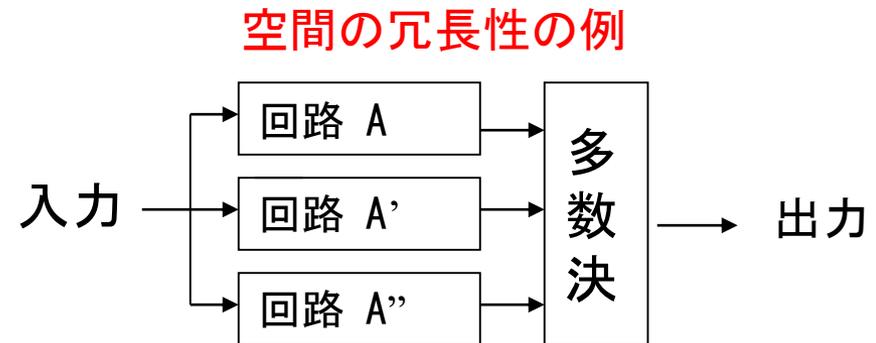


軍用に加え
車載でも重要

安全・安心のICは日本メーカーの強みか？

信頼性向上：冗長化技術

- 空間の冗長性と時間の冗長性
- 回路の非理想要因を許容して正解を出力。
- 非理想要因は計測しない。
- デジタル誤差補正技術により
 - 高信頼性化
 - 高速化



「いくら冗長性を増しても
誤り訂正100%にはならない」
ゲーデル不完全性定理を想起

2進探索 逐次比較近似ADC

逐次比較近似AD変換器

- ◆ 特徴
 - 高分解能
 - 中速サンプリング
 - 小面積
 - 低消費電力

} 産業界で幅広く使用

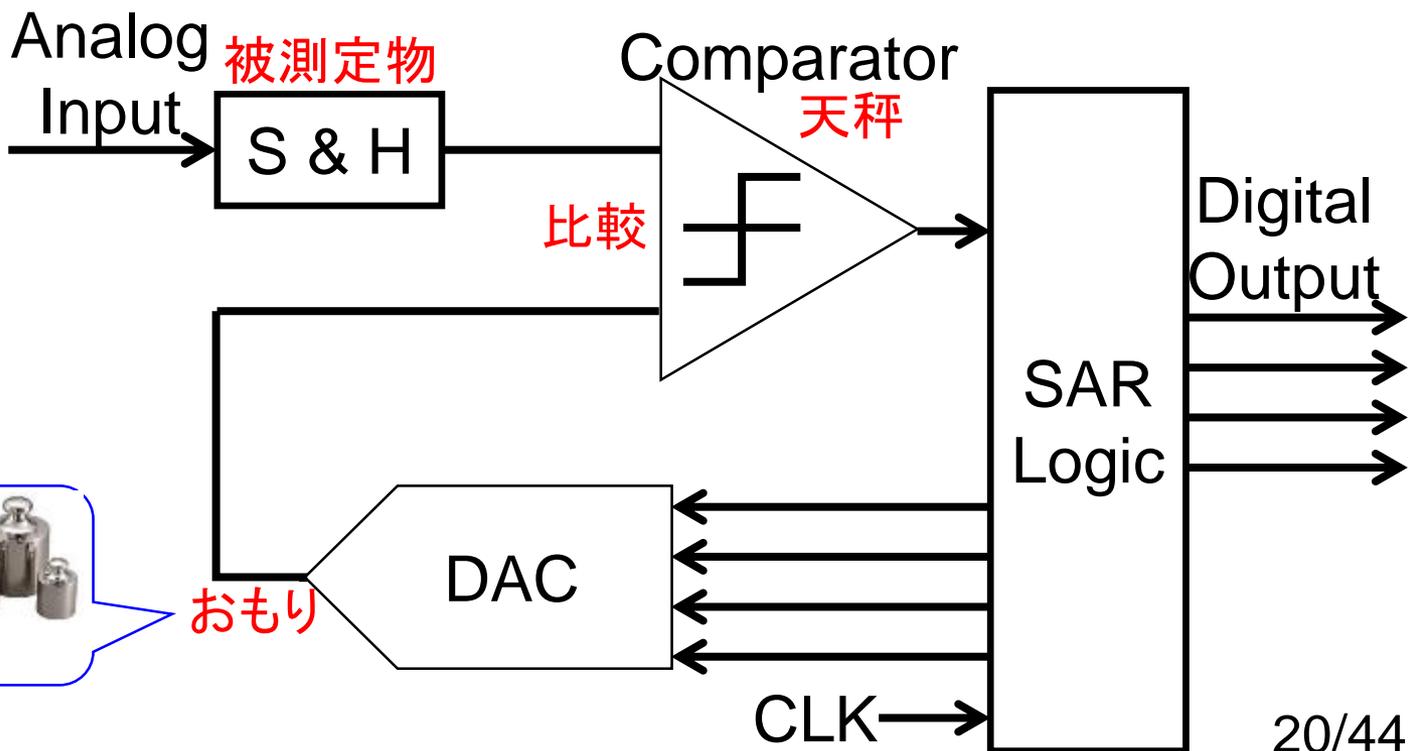
◆ 変換原理

アナログ入力と参照電圧を比較、結果に応じたデジタル出力

天秤の原理



2進重み 利用
(1, 2, 4, 8, 16, ..)



時間冗長性 逐次比較近似ADC

逐次比較近似AD変換器

- ◆ 特徴
 - 高分解能
 - 中速サンプリング
 - 小面積
 - 低消費電力

} 産業界で幅広く使用

◆ 変換原理

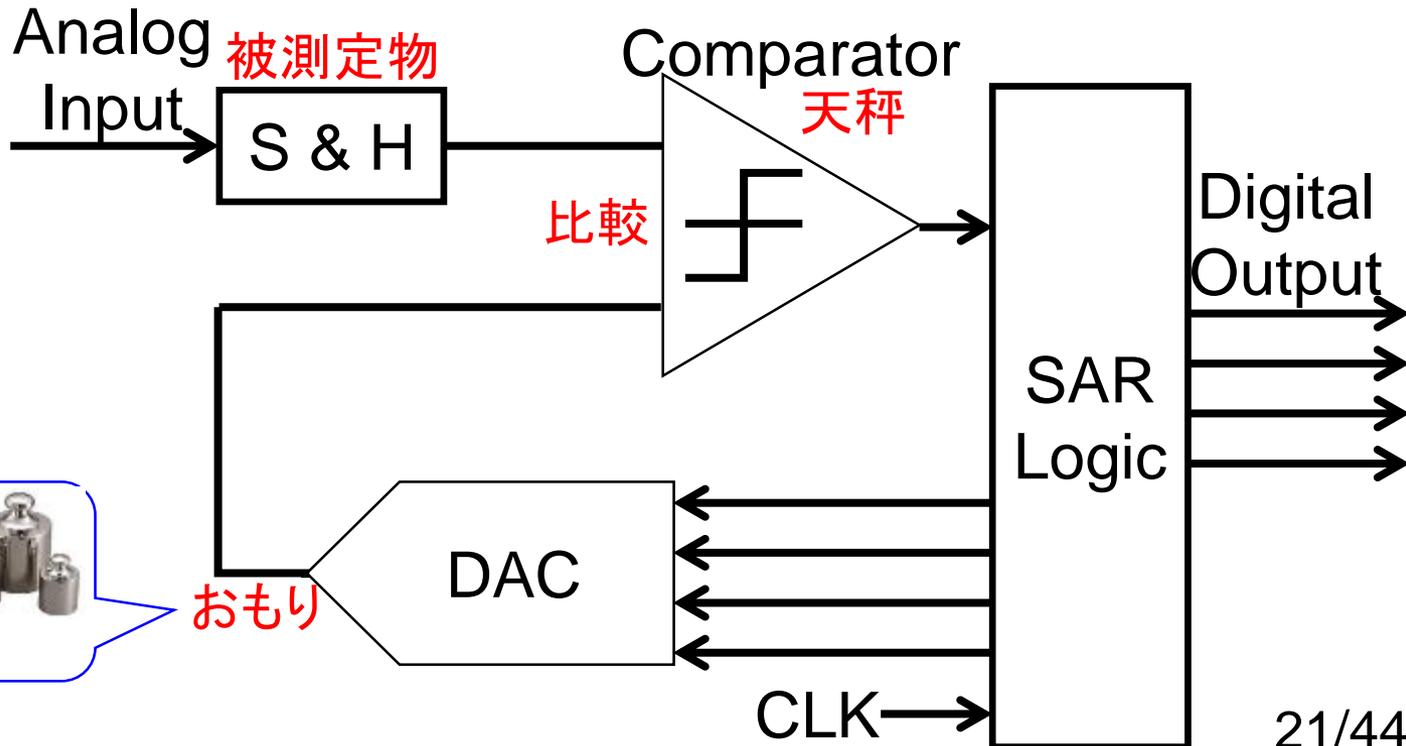
アナログ入力と参照電圧を比較、結果に応じたデジタル出力

天秤の原理



フィボナッチ重み 利用

(1, 2, 3, 5, 8, 13, ..)

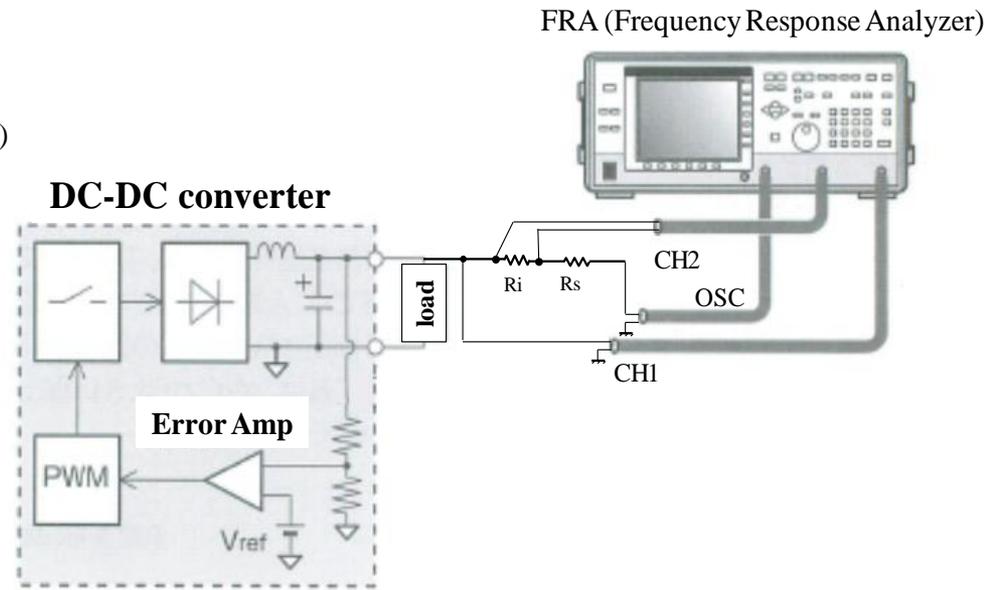
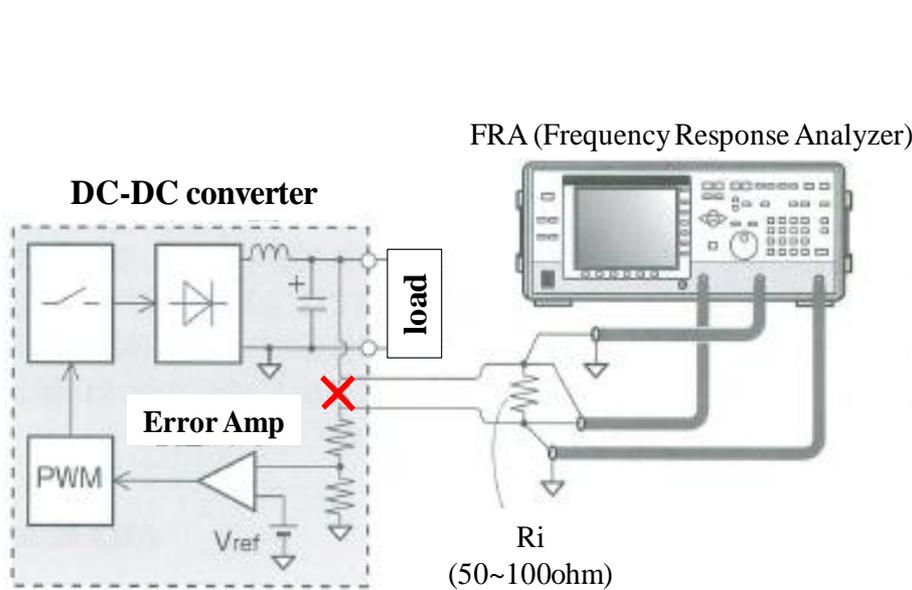


スイッチング電源 安定性 テスト技術

群馬大学 研究員 築地伸和氏

従来方法: 電圧注入法

提案方法: 出力インピーダンス法



☹️ 帰還ループの切断が**必要**

😊 帰還ループの切断が**不要**

出荷前検査に**適用不可**
安定性保証が**不可能**

出荷前検査に**適用可能**
安定性保証が**可能**

スイッチング電源 EMI低減化技術

客員教授 小堀康功先生
ご指導

電源クロックに
意図的にジッタ



スイッチングノイズを
周波数拡散

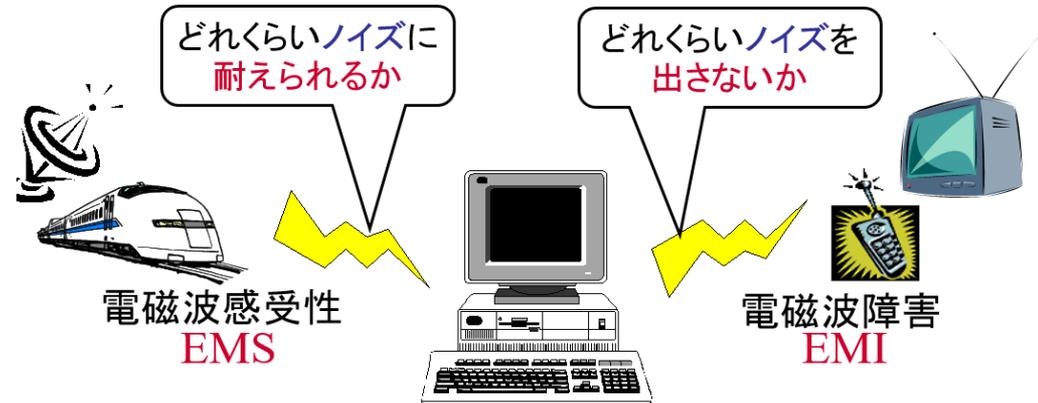


重要帯域に電磁ノイズを
拡散しない



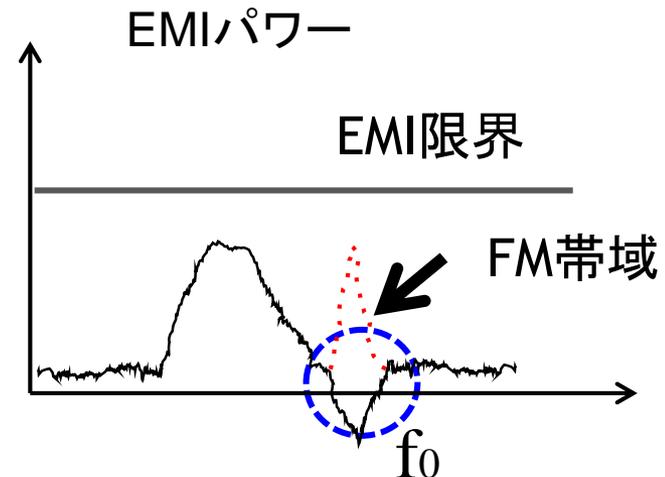
帯域選択ノイズ拡散技術

EMI (ElectroMagnetic Interference) とは



$$EMC = EMS + \text{EMI}$$

Electro Magnetic Compatibility: 電磁環境両立性 3



センサとエネルギーハーベスト技術

エネルギーハーベスト (Energy Harvest):
環境から微小エネルギーを収穫(ハーベスト)して
電力に変換する技術

工学的に永久機関を実現すると解釈可

世の中での車載応用への試み

タイヤの空気圧が一定値を下回るとアラームを出す

センサはタイヤに装着する必要があるため、
ケーブルを使って電力を供給することはできない。

電源としてタイヤの振動を利用

低コスト 車載用デバイス

LDMOS (Laterally Double Diffused MOS) トランジスタ

- ・ 特長

ゲート-ドレイン間の電界強度を緩和する構造
耐圧が高い⇒高電圧を印加可能

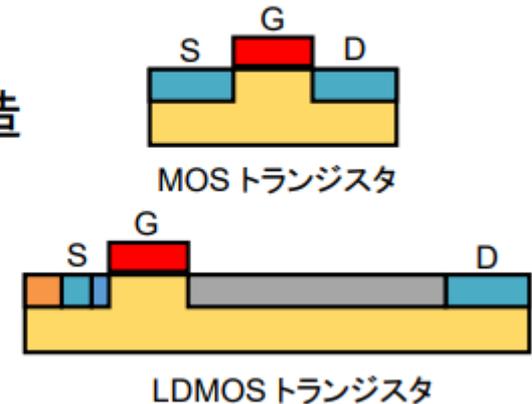
- ・ パワーMOSトランジスタの一種

電源回路のスイッチングなどに使用

- ・ SiC, GaN に比べ、性能はやや落ちるが

枯れたシリコンプロセスで低コスト

他の回路と組み合わせて集積化可能



- LDMOS 新デバイス構造 提案 (群馬大学客員教授 松田順一先生)
- LDMOS ホットキャリア注入による特性劣化のモデリングの研究
(群馬大学客員教授 青木均先生)

発表内容

- 起： 回路研究者への問題提起
- 承： 車載IC指向の研究の取り組み
- **転： 産官学 光と影**
- 結： 回路研究発展に向けて

半導体戦略を考えるための日本人論

● 日本の強み

- 奇跡の日本社会
「落とした財布が高い確率で戻ってくる」
- 外国から入ってきたものを吸収して
日本古来のものと同化する柔軟な能力

● 日本社会の問題点

- 官尊民卑
- 西洋崇拜
- 年長者コンプレックス
- 島国根性 排他的なところあり(日本だけでない)

「官」に注意

「官は民が苦勞して築いたものを、横からさっと持っていく」
(民間有識者)

「官はカネ(補助金)をちらつかせて 手柄を横取りしていく」
(大学有識者)



「独立自尊、国を支えて国に頼らず」(福沢諭吉)

一方

台湾、韓国、中国等が製造業で急速に伸びている

➡ 技術・産業がよくわかっている「官」がやっているため

日本人の白人・西洋崇拝の問題点

● 西洋文明の2つの側面

- 近代科学・文明を築く → 杉田玄白 解体新書
- ここ500年間、世界中を植民地化しまくる

● 日本人の西洋崇拝の問題1:

日本の大メーカー

「欧米の一流大学・研究所との連携で先端研究」の発想

欧米に投資、日本国内には投資せず → ブーメラン効果

韓国、台湾、中国(香港、澳門も含む)は自国の大学を育成

● 日本人の西洋崇拝の問題2:

新興アジア諸国の実力を「軽く見る」傾向 → してやられる

「ゆとり教育」より「老害」が問題

男の真価は出処進退できまる(童門冬二)

伊庭貞剛(いば ていごう) 住友第2代総理事 57歳 住友を引退
「事業の進歩発達を最も害するものは
青年の過失ではなく、老人の跋扈である。
老人は小壮者の邪魔をしないことが一番必要である。」

本田宗一郎

「世の中で一番素晴らしいものは若者のエネルギーだよ。
こりゃあ進歩の原動力だ。社会ってのは有為転変するものだ。
若い連中はそれに合わせて、ちゃんとやっていけるけど、
年寄りはずうはいかない。」

伊能忠敬： 本業引退後、17年間で日本地図を完成

地方より 人材面

- 地方では人材が圧倒的に不足

その分野で容易にオンリーワン、ナンバーワン
能力100に対して仕事120が回ってくる

➡ 人が伸びる可能性

- 「功ある者より功なき者を集めよ」 呉子

4番打者、エースのみを集めても
強いチームはできない。

脇役に徹しきれぬ選手は頼りになる。

(プロ野球 野村克也氏)

- **大学(工学部)の教員** **第3次産業(サービス業)**
メーカー技術者・研究者、国立研究所 研究者との違い
- **地方**
工学部・製造業は地方の方が向いている
都会は第3次産業化する。
- **教育**
学生 授業料を払う、学部4年＋修士2年の計3年間
「褒めて育てる」 高レベルの**アマチュア**の育成
企業技術者・研究者 給料をもらう
「めったに褒めない」 **プロ**の育成

国立大学教員の最大の問題点

教員評価 研究業績偏重



講義をすることを嫌う文化

講義を負担とみなし、押し付けあう

産業界の方に非常勤講師をお願いすると
モチベーション高くやってくれるが。。。

産業界からの新卒採用

かつて

「大学での成績なんて良くなくてもいいんです。
元気で電気系を志向していれば、
会社にはいってから こちらで鍛えます。」

今

採用担当者から「入社後に新卒を育てる」
という声はほとんど聞かない。

中国古典からの警鐘

- 「敵国 外患なき者は 国つねに亡ぶ」(孟子)

敵国もなく外国にも心配のない国は
緊張感がなくなり必ず滅亡する

 競争状態が必要

- 「人はその長ずる所に死せざるはすくなし」(墨子)

その長所や得意なことにより
かえって死に至ることが多い

現在の日本

(少し前まで)製造業で隆盛

(現在)製造業で苦戦

どのように戦うか？

日本人に合ったやり方

トップダウン ↔ 和を以って貴しとなす

大量消費、適正品質 ↔ もったいない、大事にする

技術のコピー ↔ 職人肌・学者肌・芸術家肌

デベート教育： 白を黒という ↔ 口を慎む

和魂漢才、和魂洋才、士魂商才

グローバルかインターナショナルか？

- 「世界市民(コスモポリタン)など どこにもいない」
(池上彰氏)

- 国は極めて重要

国のない民族は歴史的にも現在も大変な苦勞

パスポートがなければ 他国に入国できない

- 「経済はグローバル」と「インターナショナル」の
両方の考え方が重要

「グローバル」だけの見方は 疑問符「？」

百聞は一見に如かず



IEEE ISPACS2018 (中国 厦門)



IEEE ASICON2016 (中国 成都)



IEEE ICSICT2017 (中国 杭州)

大勢の研究室学生を
引き連れて海外(アジア地区)の
国際会議に参加・発表

トータル40件以上の発表
3件のStudent paper award

外から日本を見る

台湾、マレーシア、ベトナム



米国の名門大学訪問

- バージニア工科大学
Fred Lee 研究室訪問
(電源回路分野) 2008年
- UCLA Abidi 研究室訪問
(アナログ回路分野)
2011年



40



40/44

天を知り 地を知れば 窮まらず

天： 時代の流れ 地： 世界情勢

2018年3月 南洋理工大学(シンガポール)との交流

**Gunma University International Symposium
for Collaboration of Research and Education 2018
(GUISCRE2018)**

8-9 March, 2018

Ikaho Hot-spring Seminar Hotel & Kiryu Campus of Gunma University

Keynote Speakers of Round-Table Session (at Ikaho) (tentative)

NTU:

Prof. Shu Dong Wei (Nanyang Technological University, Singapore)

Prof. Xie Ming (Nanyang Technological University, Singapore)

Prof. Chen Tupei (Nanyang Technological University, Singapore)

Prof. Tang Dingyuan (Nanyang Technological University, Singapore)

Gunma University:

Prof. Masafumi Unno (Gunma University, Japan)

Prof. Hiroshi Sakurai (Gunma University, Japan)

Prof. Yusaku Fujii (Gunma University, Japan)

Prof. You Yin (Gunma University, Japan)

Prof. Takao Yamaguchi (Gunma University, Japan)

Prof. Haruo Kobayashi (Gunma University, Japan)

Prof. Nobuyuki Kurita (Gunma University, Japan)

Prof. Akihiro Takita (Gunma University, Japan)

Mr. Hadi Nasbey (PhD candidate, Gunma University, Japan /

Lecturer, Jakarta State University, Indonesia)



2018年3月 フィリピン訪問

フィリピンは英語圏、アメリカ圏

発表内容

- 起： 回路研究者への問題提起
- 承： 車載IC指向の研究の取り組み
- 転： 産官学 光と影
- **結：** 回路研究発展に向けて

歴史に学ぼう

- 19世紀末の物理学

「物理学は終わった、やることはない」



光電効果、量子力学、相対性理論

20世紀初頭から最もエキサイティングな学問

- 日本の半導体分野

微細化は終焉に近づく アジア諸国の猛攻勢

日本では終わったか？ 現在は車載用ICでバブル状態か？

エキサイティングな分野になるか？

「新しい時代が来ている」ことは確実

「我々が歴史から学ぶことは、

人は決して歴史から学ばないということだ」 (ヘーゲル)

回路研究の弁証法的発展

車載用ICに駆動され

- **テーゼ(正)**:
従来の回路研究論文(新規性、高性能化)
性能指標 (Figure of Merit : FOM) の追求
- **アンチテーゼ(反)**:
温度、経年変化、セキュリティ
信頼性、枯れた技術使用、低コスト
テスト・診断技術、歩留まり
- **両者を止揚(Aufheben) (合)**:
➡ 深み・厚みのある回路研究



Georg Wilhelm
Friedrich Hegel
1770 - 1831
哲学者(ドイツ)