

古典整数論から 先端集積回路アーキテクチャ設計へ

電子回路での新アルゴリズムをいかにして考案したか

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

<https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/>



Carolus Fridericus Gauss
(独: 1777-1855)

「整数論は数学の女王である。」

カール・フリードリヒ・ガウス

過去の整数論

身近にあるが、謎が多く美しい。
他分野へ貢献しない孤高の学問。

現在の整数論

情報通信処理に応用(暗号化・符号論)
⇒ デジタル信号との相性良し

アナログ集積回路設計への整数論応用は未知の世界
⇒ この分野を切り開く

- 大学での工学の研究教育
- アナログ半導体の重要性
- フィボナッチ数列と黄金比
- フィボナッチ逐次比較近似AD変換器
- 黄金比サンプリング
- 様々な研究事例
- 最後に
- 付録

電子情報部門(電気電子工学専攻)
小林・桑名研究室での研究

- 大学での工学の研究教育
- アナログ半導体の重要性
- フィボナッチ数列と黄金比
- フィボナッチ逐次比較近似AD変換器
- 黄金比サンプリング
- 様々な研究事例
- 最後に
- 付録

フンボルトの大学の理念

「知識は 発展している、
作り出されている、進歩している。

大学は 学問を未だに
完全には解決されていない
問題として、
たえず研究されるものとして
扱うことに特色がある。」



Friedrich Wilhelm
Christian Karl Ferdinand
Freiherr von Humboldt
1767年 - 1835年.

ドイツの言語学者・政治家・貴族.
フンボルト大学（ベルリン大学）
の創設者

学生時代の「数学」の講義にて印象に残る言葉
「数学の定理の発見は、論理的に
ひとつひとつ積み上げてなされるのではない。
このような定理が成立するのではないかと
直感で予測して、論理的に証明していく。」

工学分野:

「解析だけでなく 設計を教えよ」

「科学」と「技術」は似て非なるもの

7

- 「科学（理学、Science）」と「技術（工学、Technology）」は似ているが異なる。
- 「理学」が真理を追究するのを目的
- 「工学」は役に立つこと（「ものづくり」だけでなく「環境問題」等も含めて）を目的とした実学。
- 「工学」は社会性をもった学問。

「技術で世の中に喜びを提供する」



「研究所は、技術ではなく
どういふものが人に好かれるかを
研究するところである。」（本田宗一郎）

東大名誉教授 北森俊行先生



北森先生

思考力・創造力の向上のために

- 数学の定理を教え、証明してみせるよりも、
定理を発見する気持ちを教える。
- 物理法則を教えるよりも、
物理法則を見つけ出そうという気持ちを教える。
- 出来上がった理論を教えるよりも、
理論を創る気持ちを教える。

- 大学での工学の研究教育
- アナログ半導体の重要性
- フィボナッチ数列と黄金比
- フィボナッチ逐次比較近似AD変換器
- 黄金比サンプリング
- 様々な研究事例
- 最後に
- 付録



- 電子の発見から124年 (1897年)
グラスゴー大学 ケルビン卿
- トランジスタの発明から74年 (1947年)
ベル研究所 ウィリアム・ショックレイ氏 ら
- 集積回路の発明から63年 (1958年)
インテル社 ロバート・ノイス氏
テキサス・インスツルメンツ社 ジャック・キルビー氏

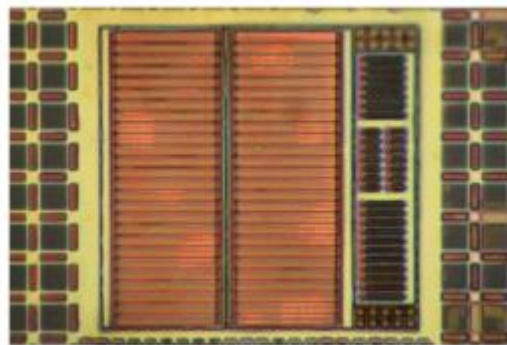
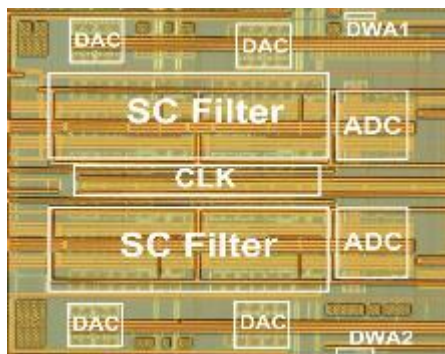
物理学の一分野にすぎなかったエレクトロニクスは
学問的・技術的および産業的に急速に発展してきた。

集積回路: Integrated Circuit (IC)

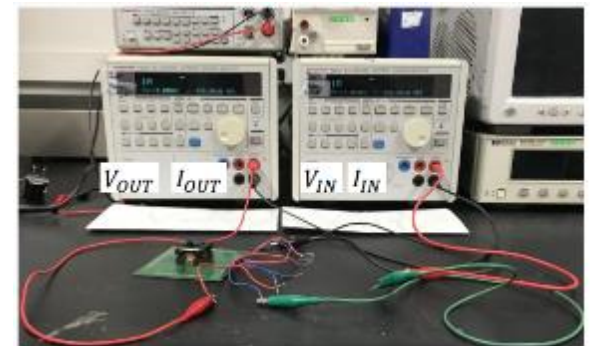
大規模集積回路:

Large Scale Integrated Circuit (LSI)

一つのチップ上に多数のトランジスタ、R、Cが集積、配線結合
開発には、様々な分野の先端科学技術が必要



群馬大学と産業界で共同開発した
集積回路チップ



集積回路チップの
測定環境

集積回路の応用

13

様々な電子機器・システムを支える



スマホ



PC



電子計測器



オーディオ



自動車



鉄道

- 様々な製品を支えるキーコンポーネント
- 長期的に成長産業

短期的には： **山高ければ谷深し**

[「半導体・デジタル産業戦略」を取りまとめました \(METI/経済産業省\)](#)

● [半導体・デジタル産業戦略 \(PDF形式：814KB\)](#)

● [半導体・デジタル産業戦略について \(要点\) \(PDF形式：162KB\)](#)

● [半導体・デジタル産業戦略 \(概要\) \(PDF形式：2,762KB\)](#)

● [半導体戦略 \(PDF形式：8,652KB\)](#)

「米中半導体戦争」が本格化、日本が急速な構造変化を生き残る道

真壁昭夫：法政大学大学院教授

国際・中国 今週のキーワード 真壁昭夫

2021.1.12 4:20

半導体不足、ついにスマホメーカーにも 危険水域に

小久保 重徳 2021/07/21 12:00



© Jbpress 提供 アップルストアに並ぶiPhone
(写真：西村尚己/アフロ)

米ウォール・ストリート・ジャーナルは7月19日、世界的な半導体不足の波が、ついにスマートフォン業界にも押し寄せたと報じた。

HOME > 山陰中央新報ニュース > 自動車半導体不足が長期化 他業界と争奪 減産続く コスト上昇、収益圧迫も

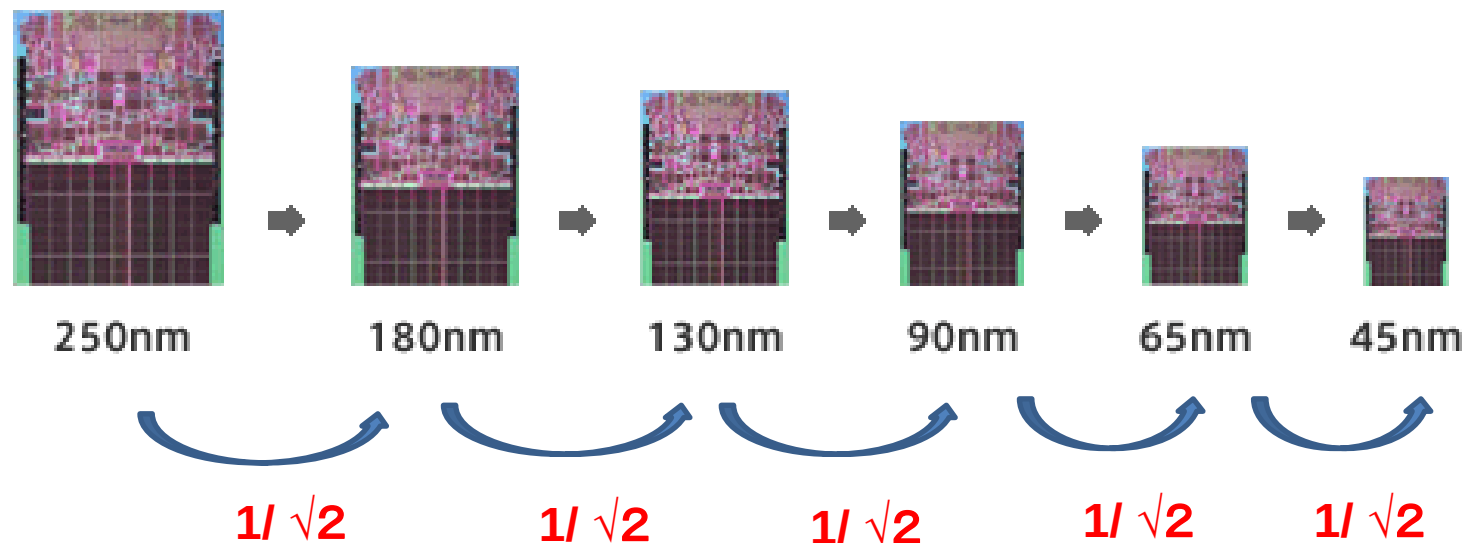
自動車半導体不足が長期化 他業界と争奪 減産続く コスト上昇、収益圧迫も

2021/7/21 04:00

半導体の供給不足が自動車業界で長期化している。社会のデジタル化に伴い、電機など他業界との争奪戦が激化しているため、部品が調達できずに年明けから減産を続ける国内自動車大手の態勢が正常化する見通...

LSIプロセス進展

$\sqrt{2}$ 白銀比



LSIプロセスが1世代進む $\Rightarrow$ サイズ $1/\sqrt{2}$ 、面積 $1/2$

日本の美しさ“白銀比”

16

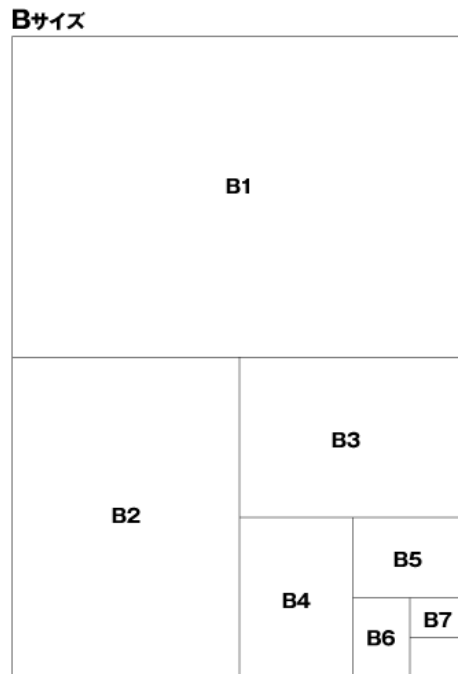
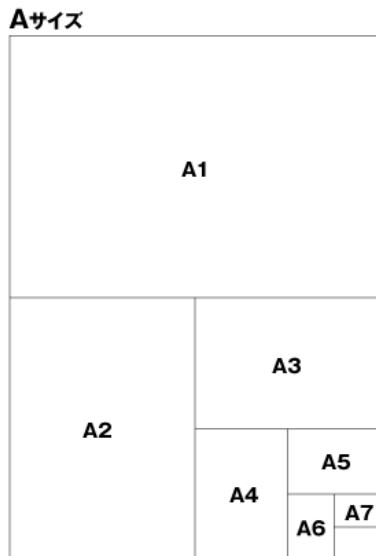
日本人が思う美しい比率

$$\frac{\sqrt{2}}{1} = 1.414 = \text{白銀比}$$

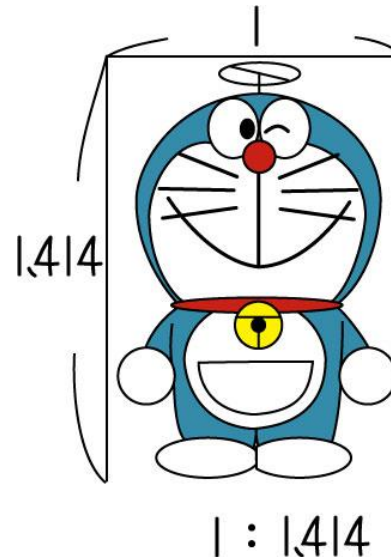
コピー用紙
A版、B版とも 縦横比率が白銀比

ドラえもん、アンパンマン、トトロ、
クレヨンしんちゃん が白銀比

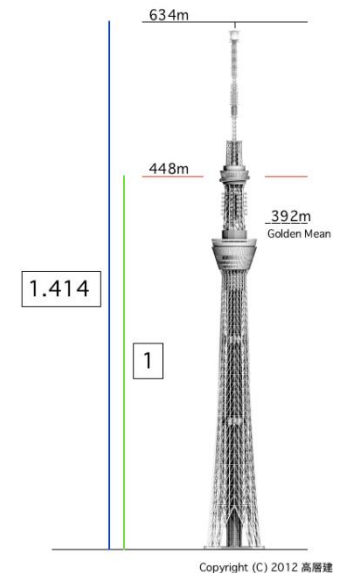
コピー用紙



キャラクター



スカイツリー

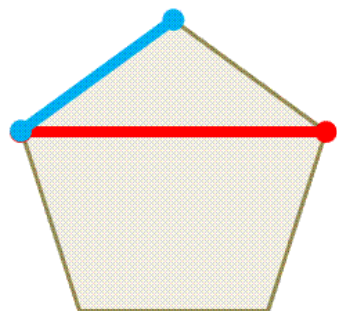


日本の美しさ“白銀比”（続き）

17

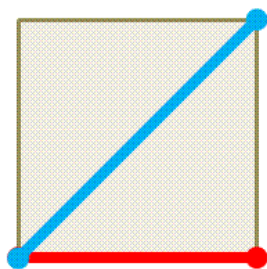
日本人は風呂敷、畳、法隆寺等 正方形を好む。

日本古来の工具



黄金比

1 : 0.618



白銀比

1 : 1.414

法隆寺



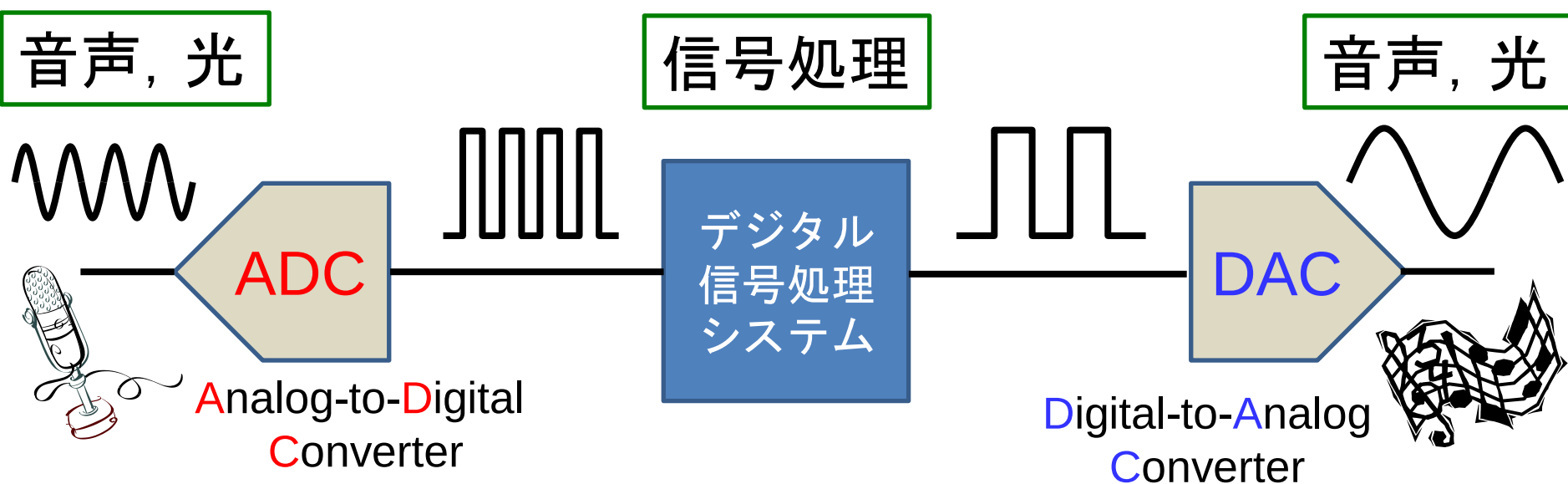
正方形： 丸い材木から
最も無駄を出さない切り方。

無駄を好まない島国の心。

電子機器 {
• 小型化
• 高速化

➡ デジタル回路が適している

✓ しかし、自然界の信号はアナログ信号であるので
信号処理が必要

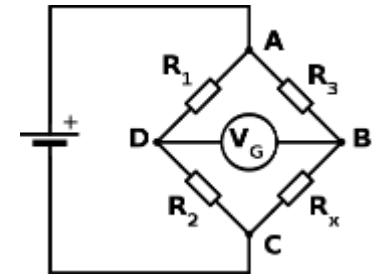


→ 高性能なAD及びDA変換器が求められている

● 零位法

測定量が基準値と等しいかを調べる

天秤、ブリッジ回路



● 偏位法

測定量の結果として生じる

計器の指示値を読む

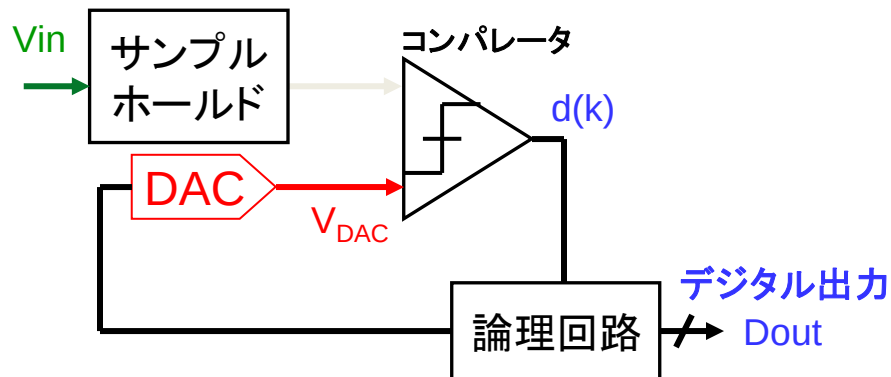
体重計、電圧計

逐次比較近似ADC

20

逐次比較近似ADCの構成

アナログ入力

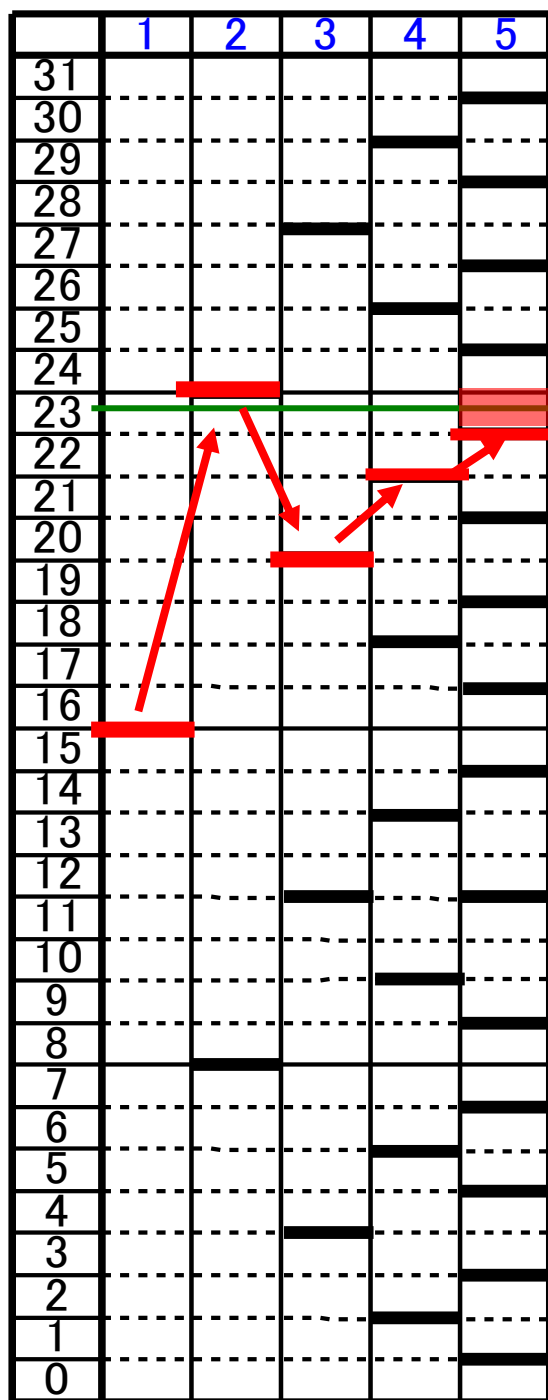


$$\begin{aligned} \text{Dout} &= 4d(1) + 2d(2) + 1d(3) \\ &= 4 + 1 \\ &= 5 \end{aligned}$$

逐次比較近似ADCの動作

入力5.3

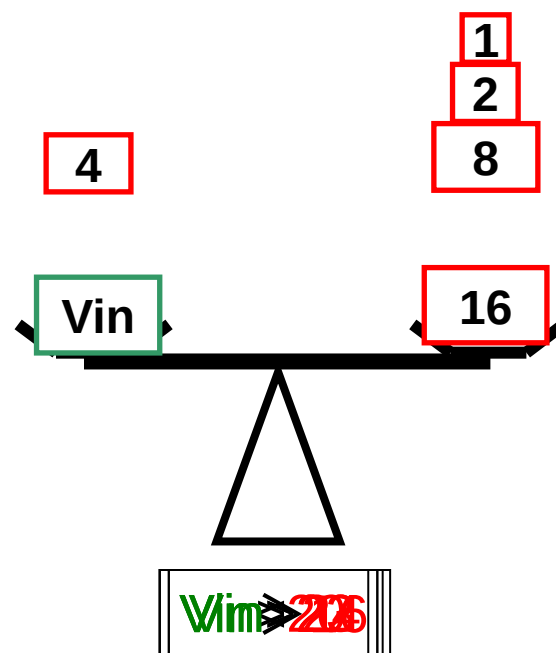
比較サイクル レベル	1	2	3	出力コード Dout
7				111
6				110
5		0	1	101
4	1			100
3				011
2				010
1				001
0				000



2進探索アルゴリズム動作 21

5ビット

動作例: アナログ入力 23.5
のとき



$$\boxed{\text{Vin}} = \begin{array}{c} \boxed{1} \\ \boxed{2} \\ \boxed{8} \\ \boxed{16} \end{array} - \boxed{4} = \boxed{23}$$

- 大学での工学の研究教育
- アナログ半導体の重要性
- フィボナッチ数列と黄金比
- フィボナッチ逐次比較近似AD変換器
- 黄金比サンプリング
- 様々な研究事例
- 最後に
- 付録

フィボナッチ数列

$$F_0 = 0$$

$$F_1 = 1$$

$$F_{n+2} = F_n + F_{n+1}$$

初めの項を計算

0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144...

⇒ フィボナッチ数と呼ばれる



Leonardo Fibonacci
(伊: 1170-1250年頃)

隣り合う項の比率は以下の値 φ に収束

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F_n}{F_{n-1}} = 1.618033988749895 = \varphi$$

収束比率 φ : 黄金比 (Golden ratio)

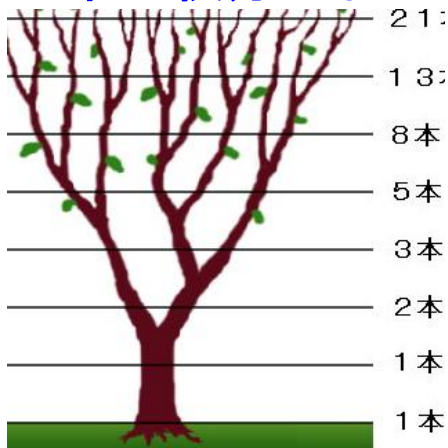
不思議な数“フィボナッチ数”

24

フィボナッチ数 : 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144...

植物と関係が深い⇒最も日光を浴びれる、最も多く配置できる

木の枝分かれ



花びら枚数

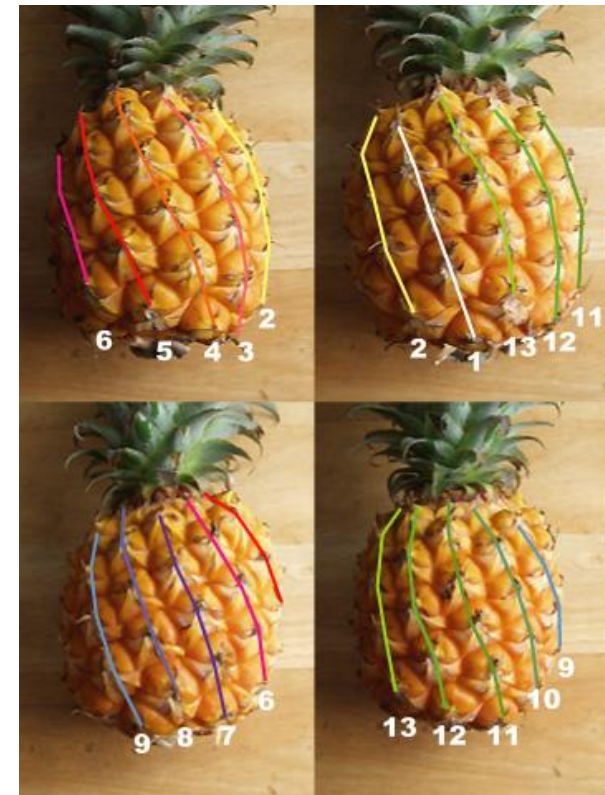


実の付け方

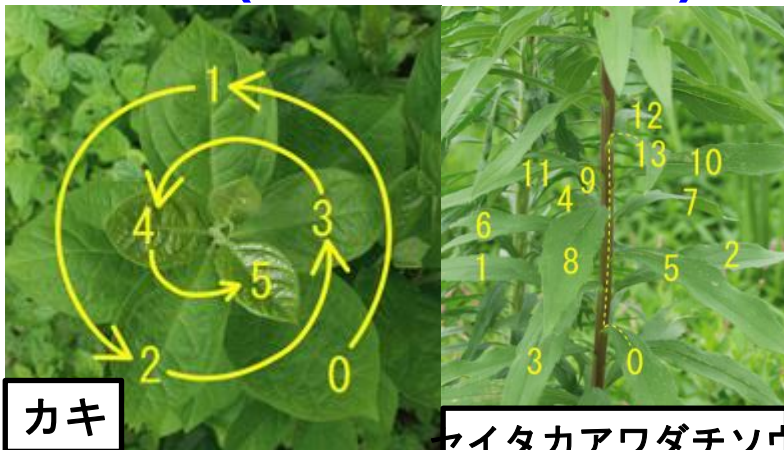
松ぼっくり



パイナップル



葉序(植物の葉の付け方)



カキ

セイタカアワダチソウ

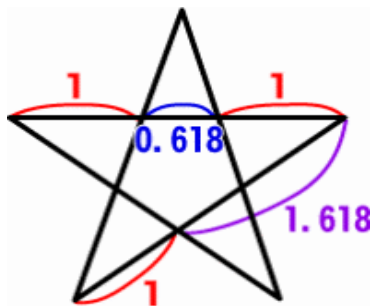
最も美しい比率“黄金比”

25

$$\text{黄金比: } \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F_n}{F_{n-1}} = 1.618033988749895 = \varphi$$

フィボナッチ・黄金比⇒“最も安定し効率の良い配置” 自然の知恵

正五芒星



クフ王のピラミッド(埃)



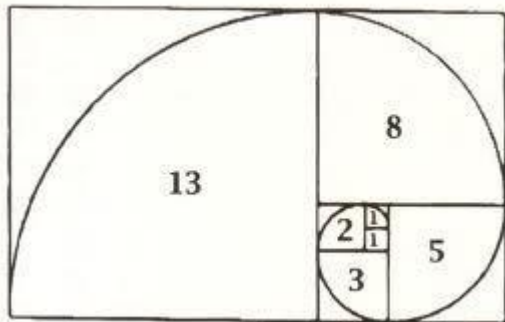
パルテノン神殿(希)



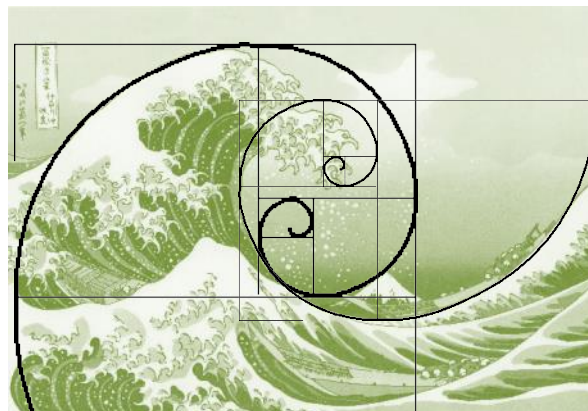
ヴィーナス



黄金螺旋



神奈川冲浪裏(葛飾北斎)



モナ・リザ(ダヴィンチ)



- フィボナッチ数列

たくさんの定理が現在も生まれている

- 黄金比

自然界・生物、建築等 あちこちにでてくる

- フィボナッチ数列と黄金比は密接な関係



冗長逐次比較近似AD変換アルゴリズムに
適用すれば、面白い結果が得られることが期待



調査・研究に着手

注)ここで使用される n は $n \geq 1$ となる任意の自然数である
取り上げるフィボナッチの基本性質は
13個あるが細かな紹介は一部とする

基本性質

- ①連続する10個のフィボナッチ数の和は11で割り切れる。 $(A|B \longleftrightarrow A$ は B で割り切れる)
 $11 \mid (F_n + F_{n+1} + F_{n+2} + F_{n+3} + F_{n+4} + F_{n+5} + F_{n+6} + F_{n+7} + F_{n+8} + F_{n+9})$
- ②連続するフィボナッチ数は互いに素である。
- ③合成数番目のフィボナッチ数(4番を除く)も合成数である。(合成数=素数でない数)
これを別の言い方で表すと n が素数でない場合、 F_n は素数ではない。

フィボナッチ数列の性質の例示②

28

②連続するフィボナッチ数は互いに素である。

例1) F_{20} と F_{21}

$$F_{20} = 6765 = 3 * 5 * 11 * 41$$

$$F_{21} = 10946 = 2 * 13 * 421$$

例2) F_{175} と F_{176}

$$F_{175} = 177244579041379840132227567949787325$$

$$= 5^2 * 13 * 701 * 3001 * 141961 * 17231203730201189308301$$

$$F_{176} = 2706074082469569338358691163510069157$$

$$= 3 * 7 * 43 * 47 * 89 * 199 * 263 * 307 * 881 * 967 * 93058241 * 562418561$$

どんなに値が大きくなったとしても
隣り合うフィボナッチ数ならば
公約数は1以外存在しない

基本性質

④フィボナッチ数の最初のn個の和は2つ後の項から1引いたものに等しい。

$$\sum_{i=1}^n F_i = F_1 + F_2 + F_3 + \cdots + F_n = F_{n+2} - 1$$

⑤連続する偶数番目のフィボナッチの数の和は、
和の最後の偶数番目のフィボナッチ数の次のフィボナッチ数より1小さい。

$$\sum_{i=1}^n F_{2i} = F_2 + F_4 + F_6 + \cdots + F_{2n-2} + F_{2n} = F_{n+2} - 1$$

⑥連続する奇数番目のフィボナッチ数の和は、
和の最後の奇数番目のフィボナッチ数の次のフィボナッチ数に等しい。

$$\sum_{i=1}^n F_{2i-1} = F_1 + F_3 + F_5 + \cdots + F_{2n-1} = F_{2n}$$

フィボナッチ数列の性質の例示⑥

30

⑥連続する奇数番目のフィボナッチ数の和は、
和の最後の奇数番目のフィボナッチ数の次のフィボナッチ数に等しい。

$$\sum_{i=1}^n F_{2i-1} = F_1 + F_3 + F_5 + \cdots + F_{2n-1} = F_{2n}$$

例2) n=5のとき

$$F_1 + F_3 + F_5 + F_7 + F_9 = 1 + 2 + 5 + 13 + 34 = 55 = F_{10}$$

例1) n=7のとき

$$\begin{aligned} & F_1 + F_3 + F_5 + F_7 + F_9 + F_{11} + F_{13} \\ &= 1 + 2 + 5 + 13 + 34 + 89 + 133 = 377 = F_{14} \end{aligned}$$

基本性質

⑦フィボナッチ数の平方の和は、最後の数とその次のフィボナッチ数との積に等しい。

$$\sum_{i=1}^n F_i^2 = F_n F_{n+1}$$

⑧2つの交互的フィボナッチ数の平方の差は、
両者の番号の和を番号とするフィボナッチ数に等しい。

$$F_n^2 - F_{n-2}^2 = F_{2n-2}$$

⑨2つの連続するフィボナッチ数の平方の和は、
その番号の和を番号とするフィボナッチ数に等しい。

$$F_n^2 + F_{n+1}^2 = F_{2n+1}$$

⑩4つの連続するフィボナッチ数については、中2項の平方の差が両端の
2項の積に等しい。

$$F_{n+1}^2 - F_n^2 = F_{n-1} * F_{n+2}$$

フィボナッチ数列の性質の例示⑦

32

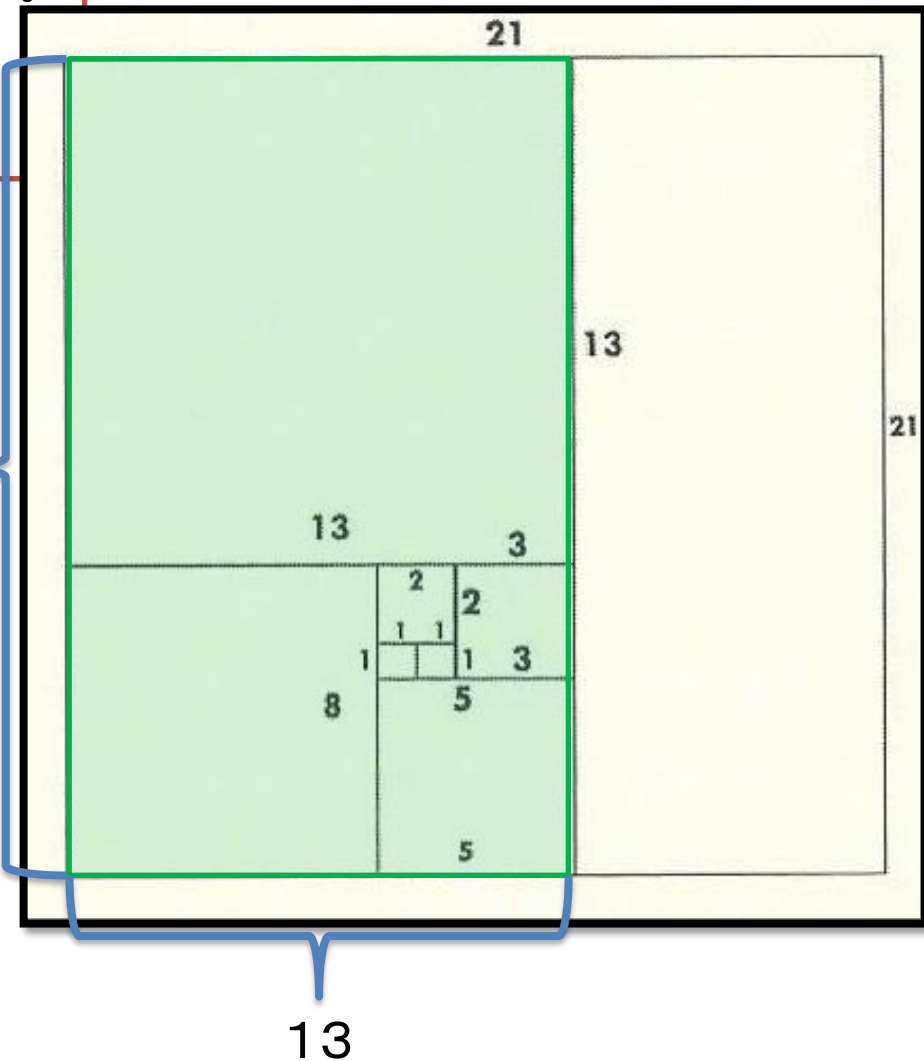
⑦ フィボナッチ数の平方の和は、最後の数とその次のフィボナッチ数との積に等しい。

$$\sum_{i=1}^n F_i^2 = F_n F_{n+1}$$

外側の長方形の面積

正方形の面積の和

21



13

フィボナッチ数列の性質の例示⑨

33

⑨ 2つの連続するフィボナッチ数の平方の和は、
その番号の和を番号とするフィボナッチ数に等しい。

$$F_n^2 + F_{n+1}^2 = F_{2n+1}$$

例1) n=5

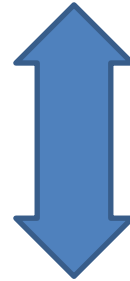
$$\begin{aligned} F_5^2 + F_6^2 &= 5^2 + 8^2 \\ &= 25 + 64 = 89 = F_{11} \end{aligned}$$

例2) n=8

$$\begin{aligned} F_8^2 + F_9^2 &= 21^2 + 34^2 \\ &= 441 + 1156 = 1597 = F_{17} \end{aligned}$$

フィボナッチ数列の隣り合う項の比率は以下に収束する(**黄金比**)

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F_n}{F_{n-1}} = 1.618033988749895 = \varphi$$



差がぴったり1

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{F_{n-1}}{F_n} = 0.618033988749895 = \frac{1}{\varphi}$$

すなわち

$$\frac{1}{\varphi} = \varphi - 1$$



この関係が成り立つ
唯一の正の値が
黄金比である

黄金比 $\varphi(=\frac{\sqrt{5}+1}{2})$ をべき乗してみると...

$$\varphi^2 = \left(\frac{\sqrt{5}+1}{2}\right)^2 = \frac{2\sqrt{5}+6}{4} = \frac{\sqrt{5}+3}{2} = \frac{\sqrt{5}+1}{2} + 1 = \varphi + 1$$

この関係を利用して次数を下げる



$$\varphi^3 = \varphi \times \varphi^2 = \varphi(\varphi + 1) = \varphi^2 + \varphi = (\varphi + 1) + \varphi = 2\varphi + 1$$

$$\begin{aligned}\varphi^4 &= \varphi^2 \times \varphi^2 = (\varphi + 1)(\varphi + 1) = \varphi^2 + 2\varphi + 1 \\ &= (\varphi + 1) + 2\varphi + 1 = 3\varphi + 2\end{aligned}$$

⋮

前スライドの計算から以下の結果を得る

$$\varphi = 1\varphi + 0$$

$$\varphi^2 = 1\varphi + 1$$

$$\varphi^3 = 2\varphi + 1$$

$$\varphi^4 = 3\varphi + 2$$

$$\varphi^5 = 5\varphi + 3$$

$$\varphi^6 = 8\varphi + 5$$

$$\varphi^7 = 13\varphi + 8$$

$$\varphi^8 = 21\varphi + 13$$

↓

$$\varphi^X = a\varphi + b$$

黄金比のべき乗は

黄金比のa倍と整数bの和で表現できる

そしてaとbはフィボナッチ数である

フィボナッチ数と黄金比には
密接な関係がある

フィボナッチ数から黄金比
黄金比からフィボナッチ数

ビネーの公式

$$F_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[\varphi^n - \left(-\frac{1}{\varphi} \right)^n \right]$$

Ex.

$$\begin{aligned} F_{128} &= \frac{1}{\sqrt{5}} \left[\left(\frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{128} - \left(\frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^{128} \right] \\ &= 251,728,825,683,549,488,150,424,261 \end{aligned}$$

- 大学での工学の研究教育
- アナログ半導体の重要性
- フィボナッチ数列と黄金比
- フィボナッチ逐次比較近似AD変換器
- 黄金比サンプリング
- 様々な研究事例
- 最後に
- 付録



自動車エレクトロニクスに注目が集まる



マイクロコントローラーには
従来よりも**高速**かつ**高信頼性**のSAR ADCが必要に

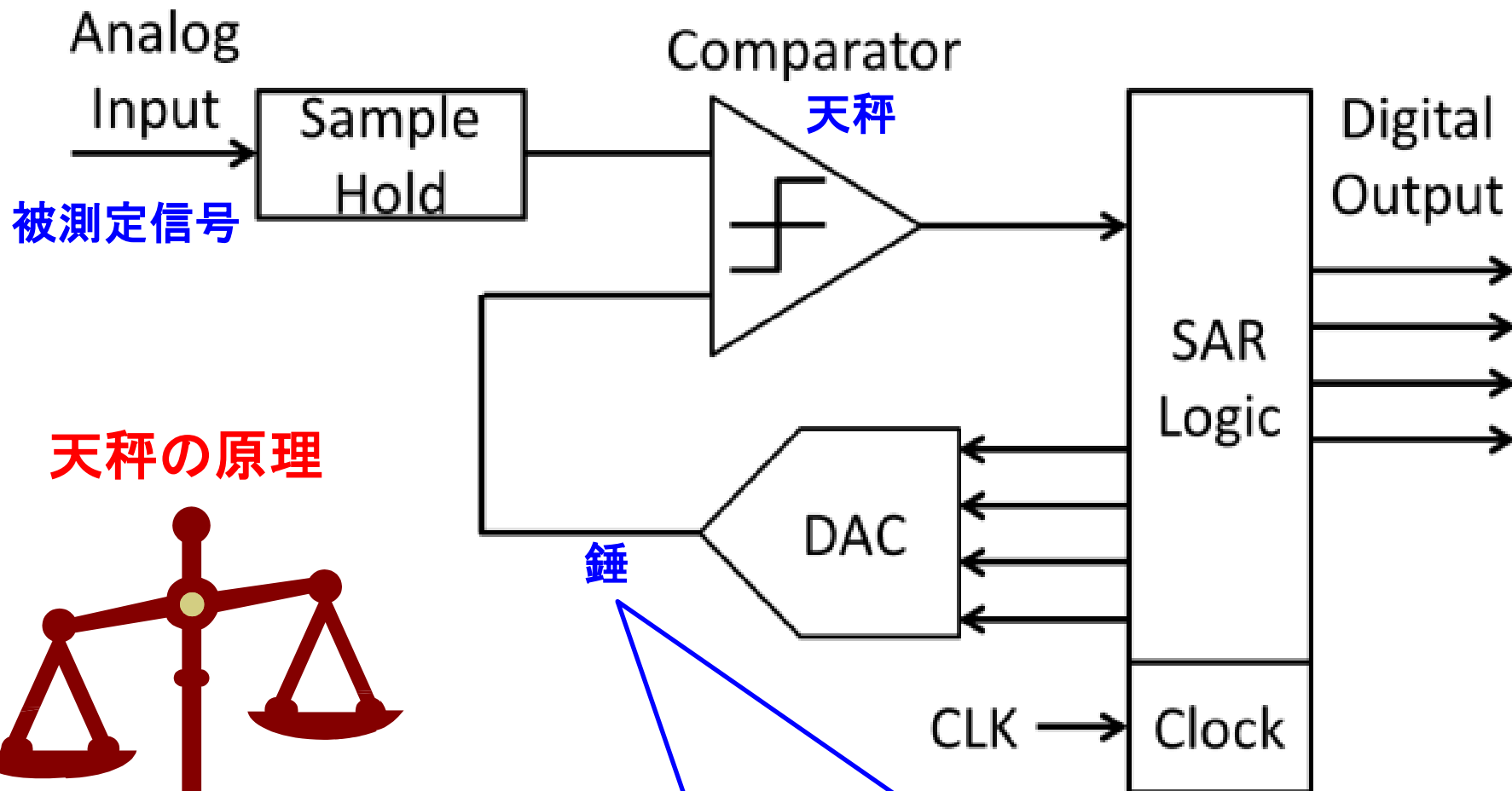


デジタル誤差補正可能な冗長設計で解決！

設計課題の存在 (××)

2進重み付け逐次比較近似AD変換器

40



天秤の原理



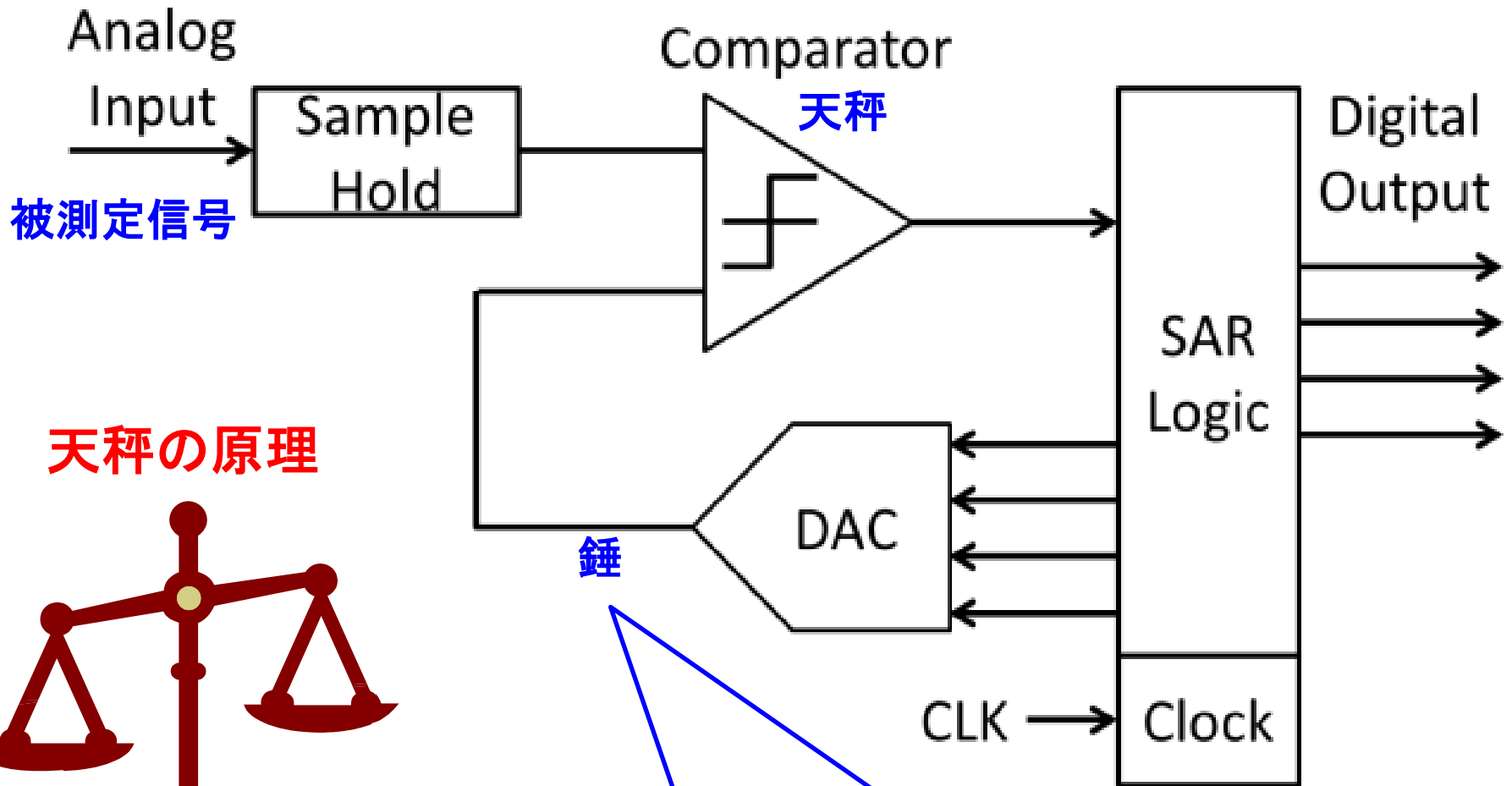
錘

2進重みを利用

(1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ...)



フィボナッチ重み付け逐次比較近似AD変換器⁴¹



天秤の原理



錘

フィボナッチ重みを利用
(1, 2, 3, 5, 8, 13, 21,...)



SAR ADCの二進探索動作(1)

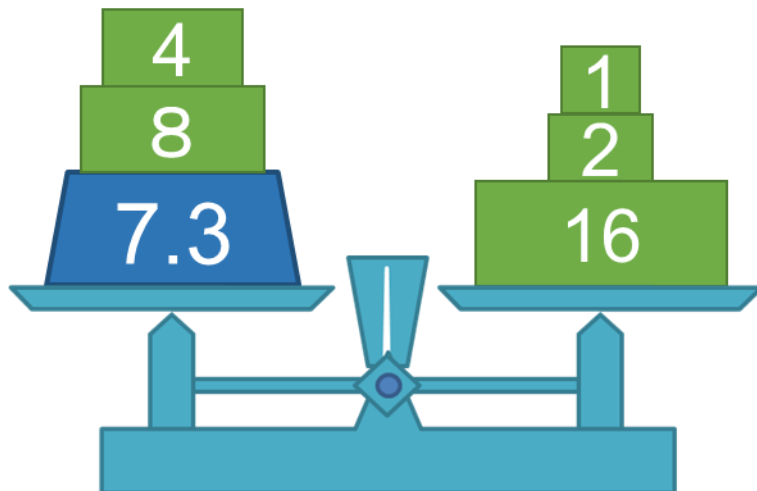
42

5bit5step SAR ADC

➤ 二進重み

$$p(k) = 16, 8, 4, 2, 1$$

➤ 入力 7.3 LSB 相当



$$7.3 \Rightarrow 7$$

Step		1st	2nd	3rd	4th	5th	output
Weight p(k)		16	8	4	2	1	
Level	31						31
	30						30
	29						29
	28						28
	27						27
	26						26
	25						25
	24						24
	23						23
	22						22
	21						21
	20						20
	19						19
	18						18
	17						17
	16						16
	15						15
	14						14
	13						13
	12						12
	11						11
	10						10
	9						9
	8						8
	7						7
	6						6
	5						5
	4						4
	3						3
	2	0	0	1	1	1	2
	1						1
	0						0

SAR ADCの二進探索動作(2)

43

5bit 5step SAR ADC

➤ 二進重み

$$p(k) = 16, 8, 4, 2, 1$$

➤ 入力 7.3 LSB 相当

二進数と十進数が1対1に対応

$$D_{out} = (00111)_2$$

$$7 = 16 - 8 - 4 + 2 + 1 + 0.5 - 0.5$$

Step		1st	2nd	3rd	4th	5th	output
Weight p(k)		16	8	4	2	1	
Level	31						31
	30						30
	29						29
	28						28
	27						27
	26						26
	25						25
	24						24
	23						23
	22						22
	21						21
	20						20
	19						19
	18						18
	17						17
	16						16
	15						15
	14						14
	13						13
	12						12
	11						11
	10						10
	9						9
	8						8
	7						7
	6						6
	5						5
	4						4
	3						3
	2	0	0	1	1	1	2
	1						1
	0						0

SAR ADCの二進探索動作(3)

44

5bit5step SAR ADC

➤ 二進重み

$$p(k) = 16, 8, 4, 2, 1$$

➤ 入力 7.3 LSB 相当

二進数と十進数が1対1に対応

$$D_{out} = (00111)_2$$



一回の判定誤りが
直接出力間違いとなる

$$D_{out} = (0\mathbf{1}000)_2 = \mathbf{8}$$

信頼性の劣化

Step		1st	2nd	3rd	4th	5th	output
Weight p(k)		16	8	4	2	1	
Level	31						31
	30						30
	29						29
	28						28
	27						27
	26						26
	25						25
	24						24
	23						23
	22						22
	21						21
	20						20
	19						19
	18	0	1	0	0	0	18
	17						17
	16						16
	15						15
	14						14
	13						13
	12						12
	11						11
	10						10
	9						9
	8						8
	7						7
	6						6
	5						5
	4						4
	3						3
	2						2
	1						1
	0						0

判定間違い！

冗長: 余分や余裕のこと

↓ SAR ADCへ適用

時間冗長性を利用

- ◆ 比較判定回数を増加
- ◆ 比較する電圧を変更



デジタルコードによる
表現方法増加



デジタル誤差補正の実現

二進重み

$p(k): 1, 2, 4, 8, 16$



非二進重み

$p(k): 1, 2, 3, 6, 10, 16$



SAR ADCの冗長探索動作(1)

46

5bit6step SAR ADC

➤ 冗長重み

$$p(k) = 16, 10, 6, 3, 2, 1$$

➤ 入力 6.3 LSB 相当

判定ステップの増加

$$6 \Rightarrow 010001 \Rightarrow 6$$

$$16 - 10 + 6 - 3 - 2 - 1 + 0.5 - 0.5 = 6$$

Step		1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	output
Weight p(k)		16	10	6	3	2	1	
Level	31							31
	30							30
	29							29
	28							28
	27							27
	26							26
	25							25
	24							24
	23							23
	22							22
	21							21
	20							20
	19							19
	18							18
	17							17
	16							16
	15							15
	14							14
	13							13
	12							12
	11							11
	10							10
	9							9
	8							8
	7							7
	6							6
	5							5
	4							4
	3	0	1	0	0	0	1	3
	2							2
	1							1
	0							0

SAR ADCの冗長探索動作(2)

47

5bit6step SAR ADC

➤ 冗長重み

$$p(k) = 16, 10, 6, 3, 2, 1$$

➤ 入力 6.3 [LSB]

判定ステップの増加

$$6 \Rightarrow 010001 \Rightarrow 6$$



デジタルコード表現が複数

$$6 \Rightarrow 0\mathbf{0}1111 \Rightarrow \mathbf{6}$$

デジタル誤差補正

高信頼性の実現

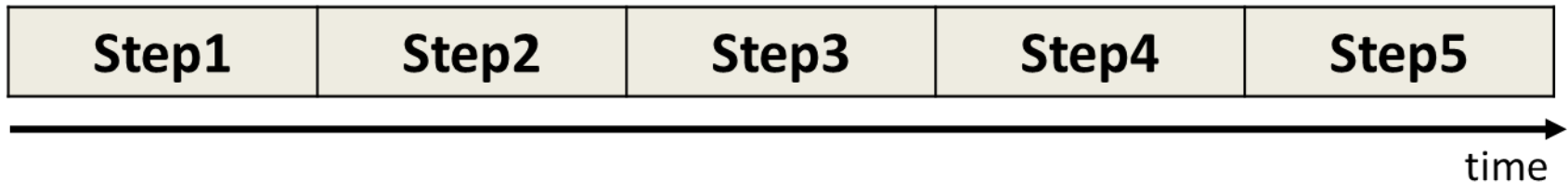
Step	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	output
Weight p(k)	16	10	6	3	2	1	
31							31
30							30
29							29
28							28
27							27
26							26
25							25
24							24
23							23
22							22
21							21
20							20
19							19
18							18
17							17
16							16
15							15
14							14
13							13
12							12
11							11
10							10
9							9
8							8
7							7
6							6
5							5
4							4
3	0	0	1	1	1	1	3
2							2
1							1
0							0

判定間違い！

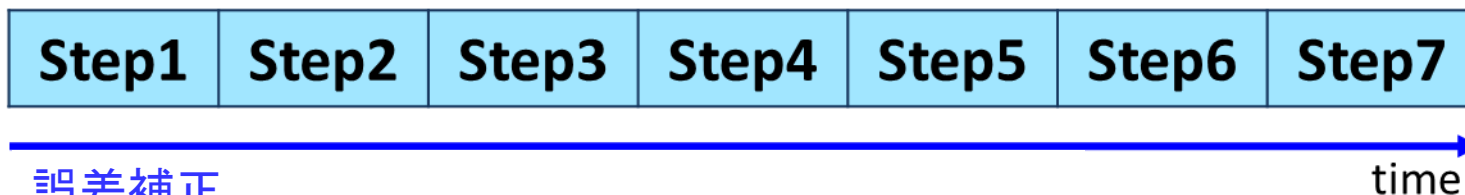
デジタル誤差補正 ➡ 天秤が完全に整定してなくてOK

5bit SAR ADC

2進探索

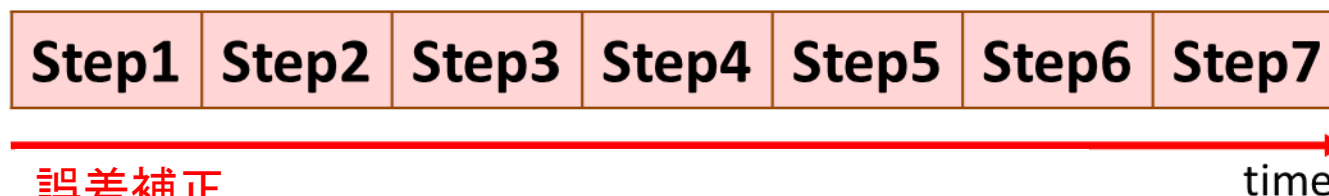


冗長探索



誤差補正

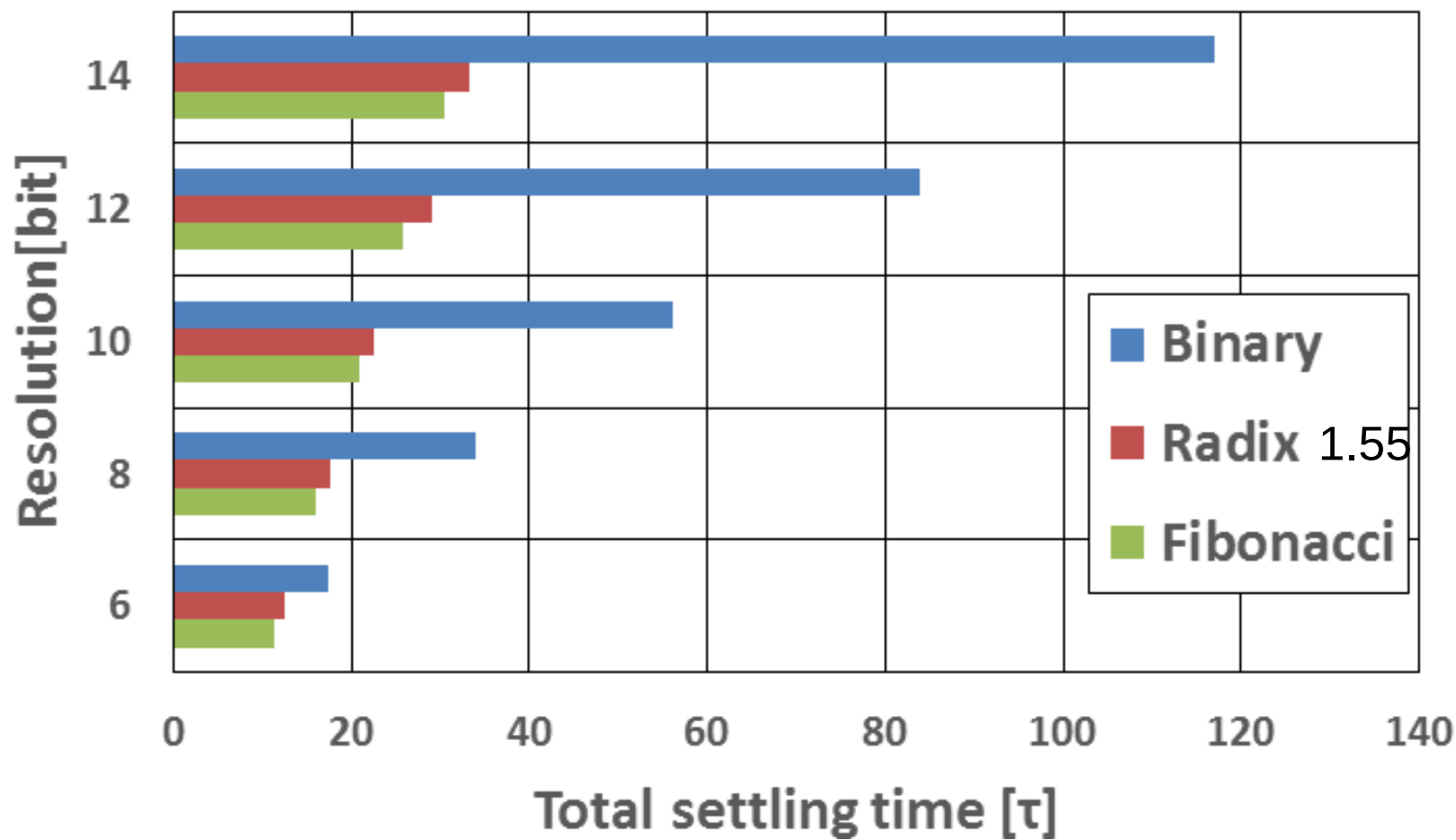
フィボナッチ探索



誤差補正

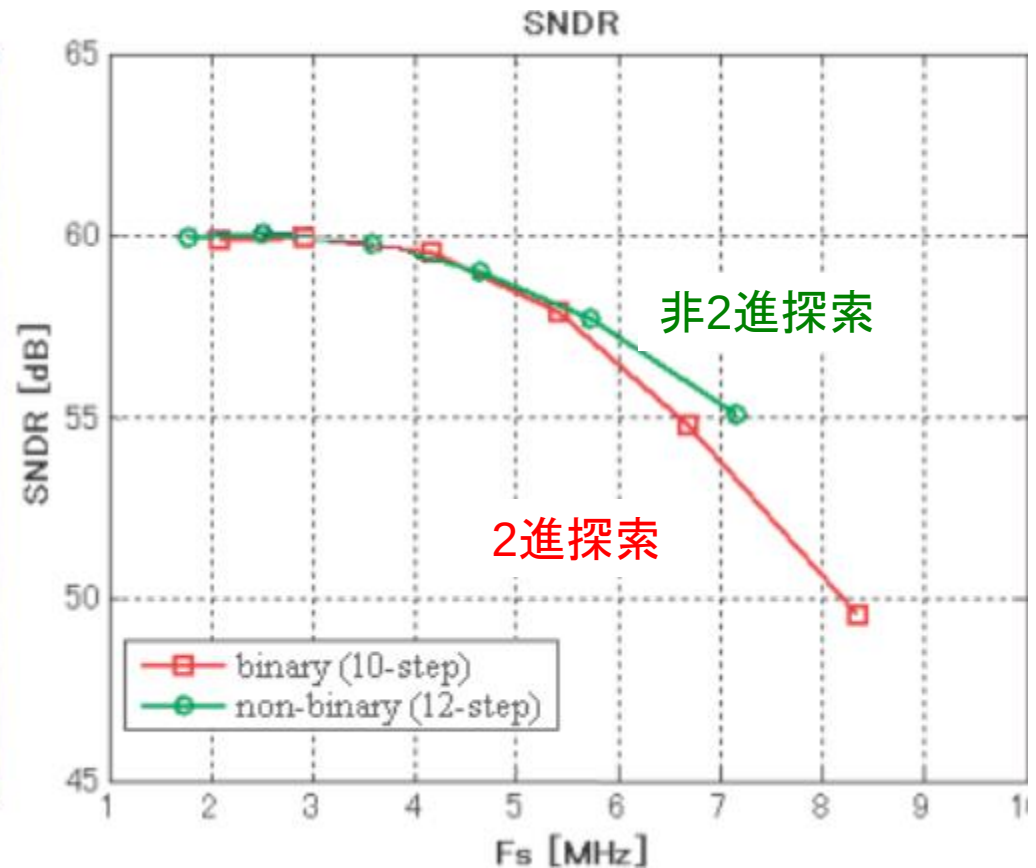
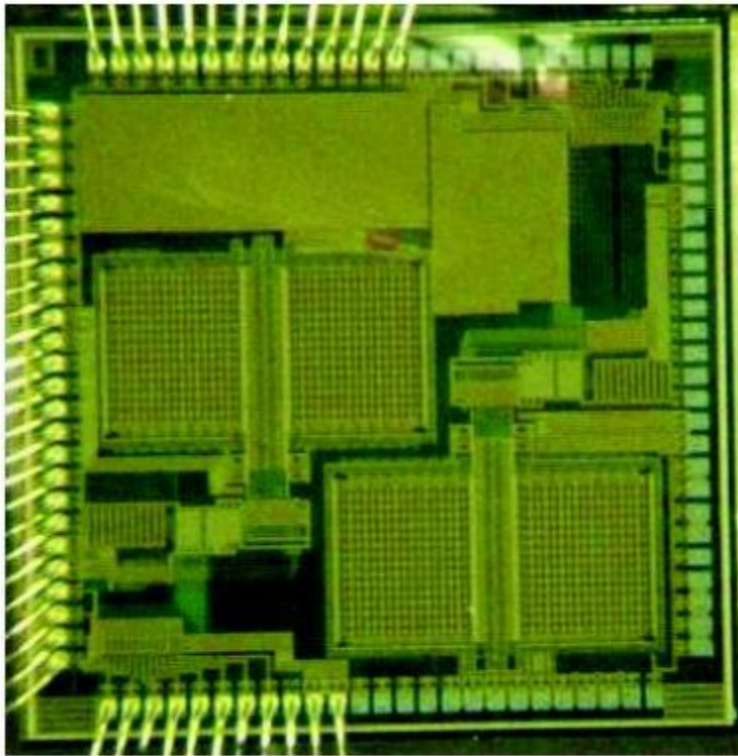
最短
AD変換時間
の実現！

固定クロックにおける変換時間の比較(分解能別)



固定クロックでは....

どの分解能でもフィボナッチ手法SAR ADCが最も早い



群馬大と産業界で共同開発した
逐次比較近似AD変換器

1人の人が、間違いなく休みもとらずにやれば
6時間で終わる仕事

- ➡ 7時間を割り当てる。
- ➡ 途中で間違えても修正・回復できる。
適度に休息をとり 余裕をもって確実に
仕事を完了させることができる。

長い間には効率的。

短い時間で大プロジェクトが完了できる。

フィボナッチ数列、黄金比と
冗長逐次比較近似AD変換アルゴリズム
を結びつける

Creativity is just connecting things.
「創造力とは、いろいろなものをつなぐ力だ」
(Steve Jobs, Apple社)



- 大学での工学の研究教育
- アナログ半導体の重要性
- フィボナッチ数列と黄金比
- フィボナッチ逐次比較近似AD変換器
- 黄金比サンプリング
- 様々な研究事例
- 最後に
- 付録

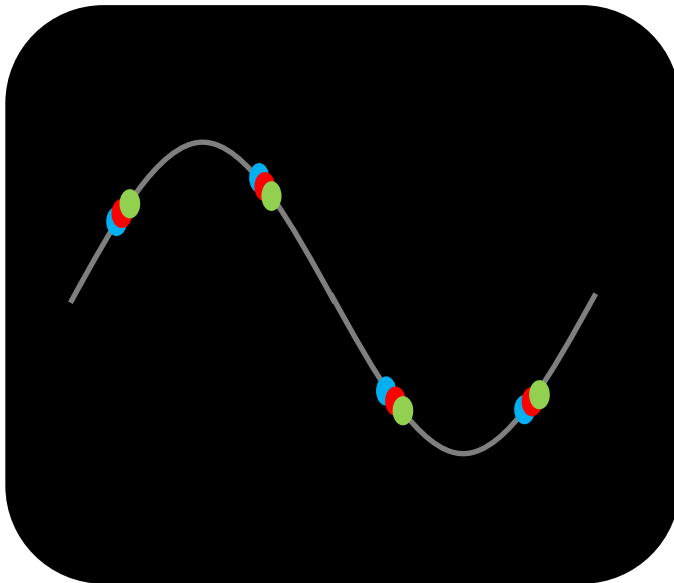
等価時間サンプリング技術において
波形取得効率を最大にする条件が
“黄金比” に関係することを見出した



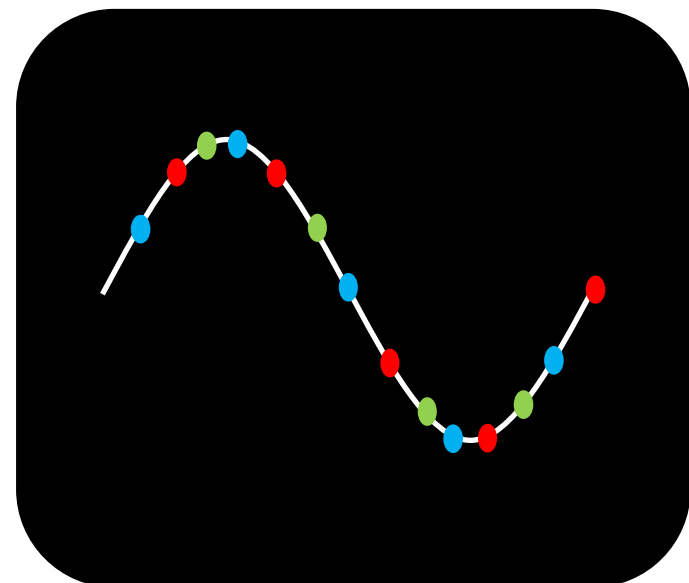
パンテオン神殿(ギリシャ)
縦横が黄金比

研究目的

効率的なIC試験のために、
等価時間サンプリングでの**高効率**波形を取得する。



サンプリング点が**局在**

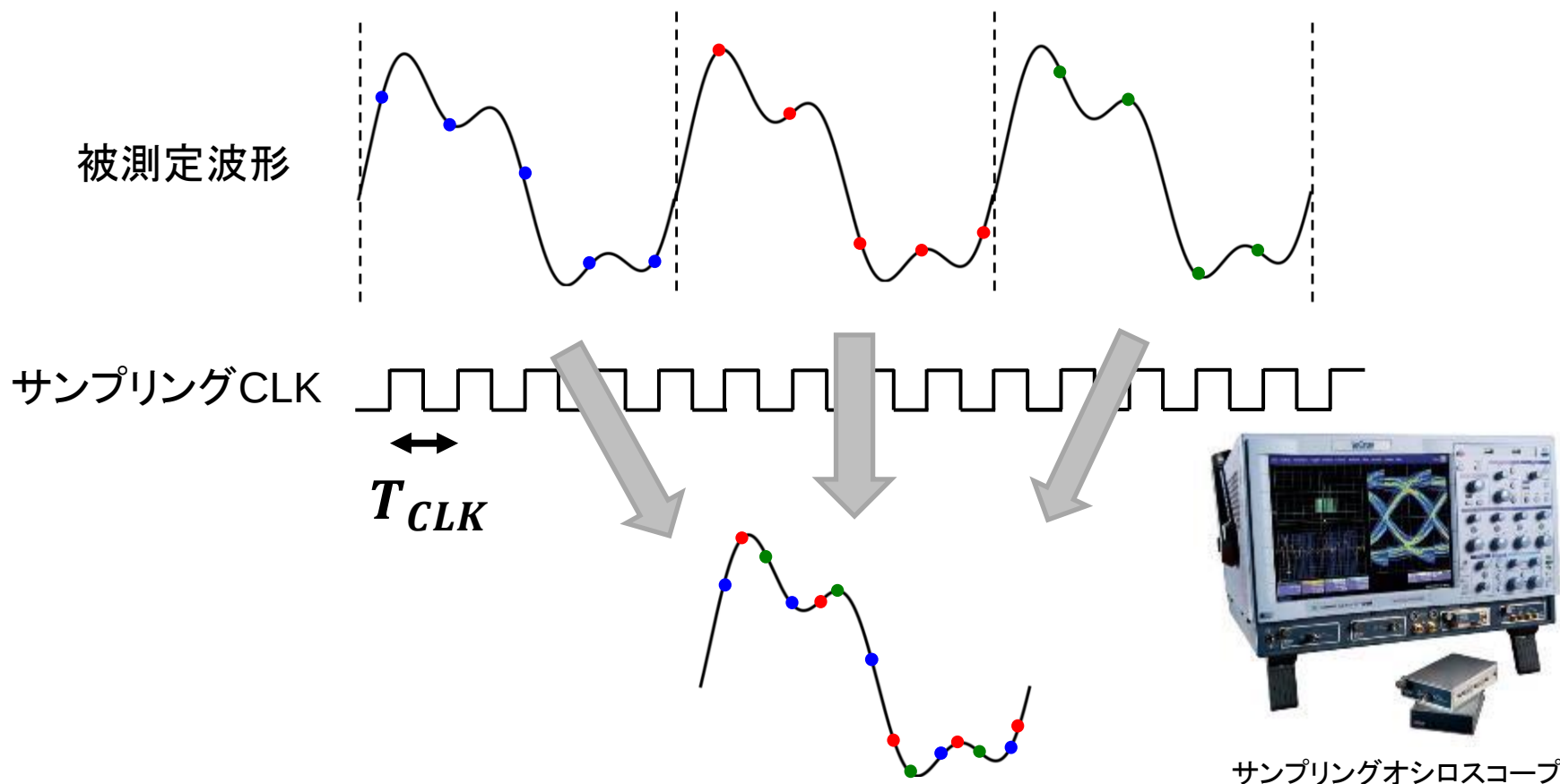


サンプリング点が**分散**

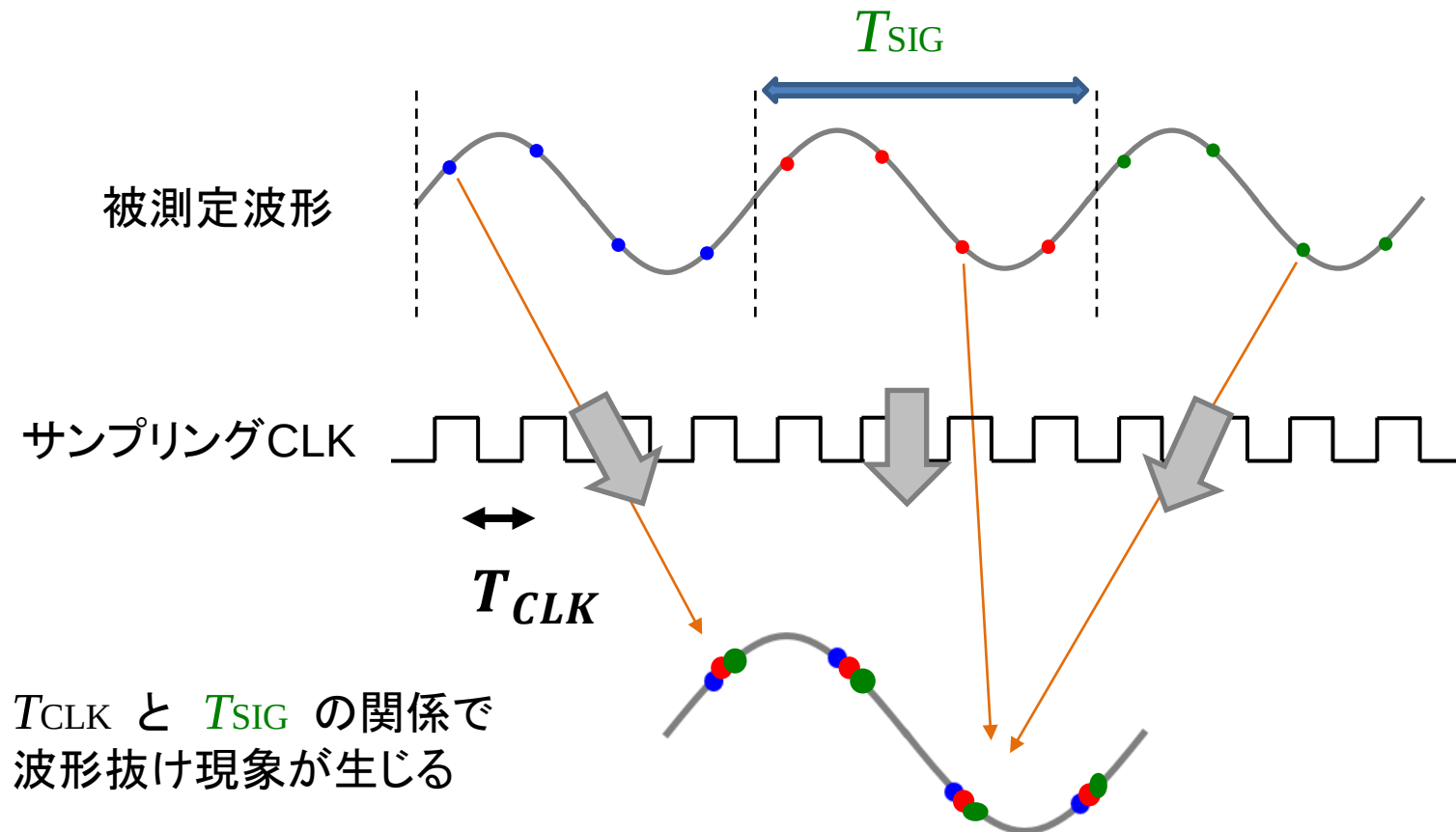


等価時間サンプリングとは

- 繰り返し波形を高時間分解能でサンプリングする技術。
- サンプリング・オシロスコープ等で使用。



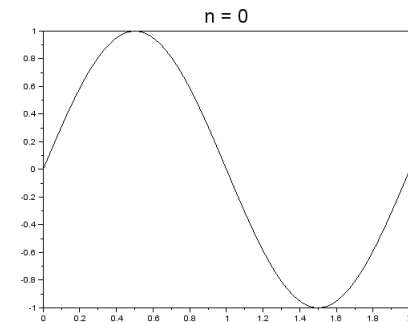
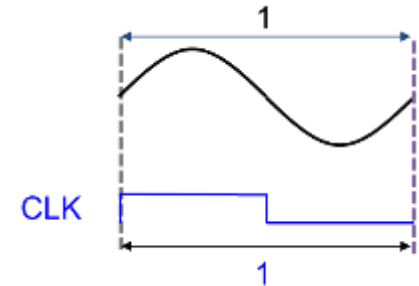
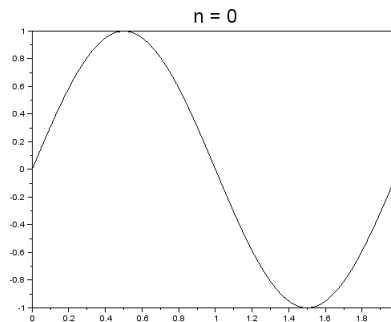
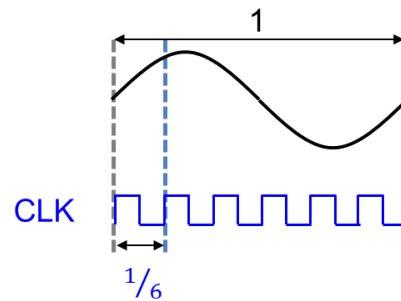
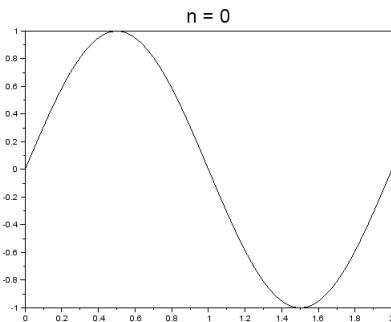
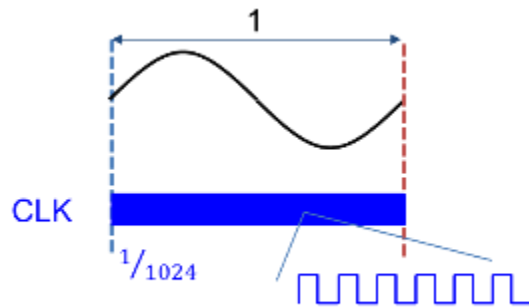
波形抜け現象



波形を再構成するために大量のデータが必要 ➡ 測定時間: 長

波形抜け条件(低効率)

$$f_{CLK} \gg f_{sin} \quad f_{CLK} \approx \frac{1}{\alpha} f_{sin} \left(\alpha = 1, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{2}{3}, \dots, \frac{1}{6}, \dots \right) \quad f_{CLK} \approx f_{sin}$$

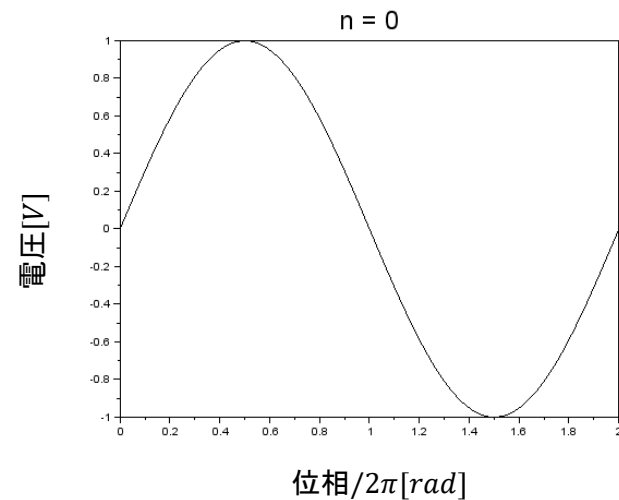
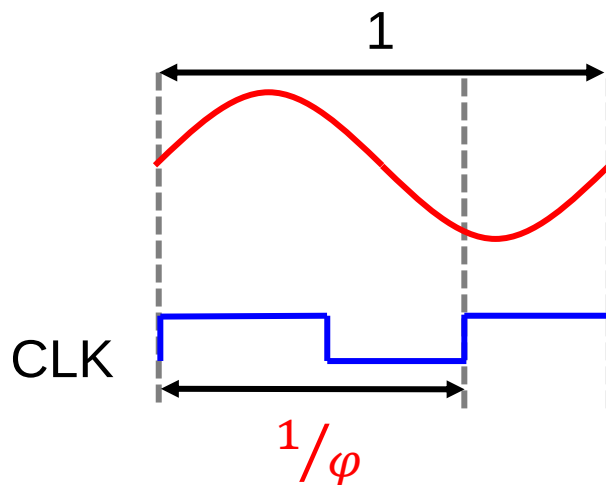


サンプリング点が局在 ➡ 隣接するサンプリング点間の距離の比: 大

黄金比サンプリング

$$f_{CLK} = \varphi \times f_{sig}$$

φ : 黄金数 (= 1.6180339887...)



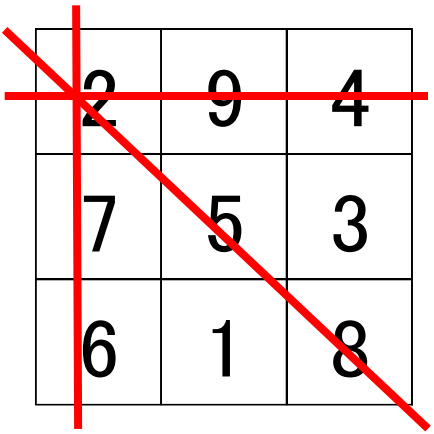
サンプリング点 ➡ 常に位相全体にまんべんなく分布

最も効率が良い波形サンプリングを実現することを発見

- 大学での工学の研究教育
- アナログ半導体の重要性
- フィボナッチ数列と黄金比
- フィボナッチ逐次比較近似AD変換器
- 黄金比サンプリング
- 様々な研究事例
- 最後に
- 付録

Magic square : 魔方陣

定和性: 各行・列・対角線の和が一定



2	9	4
7	5	3
6	1	8

3次方陣

7	12	1	14
2	13	8	11
16	3	10	5
9	6	15	4

4次方陣

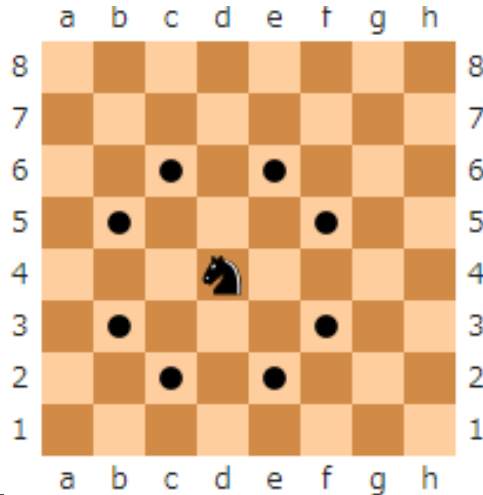
11	18	25	2	9
10	12	19	21	3
4	6	13	20	22
23	5	7	14	16
17	24	1	8	15

5次方陣

Knight Tour とは何か？

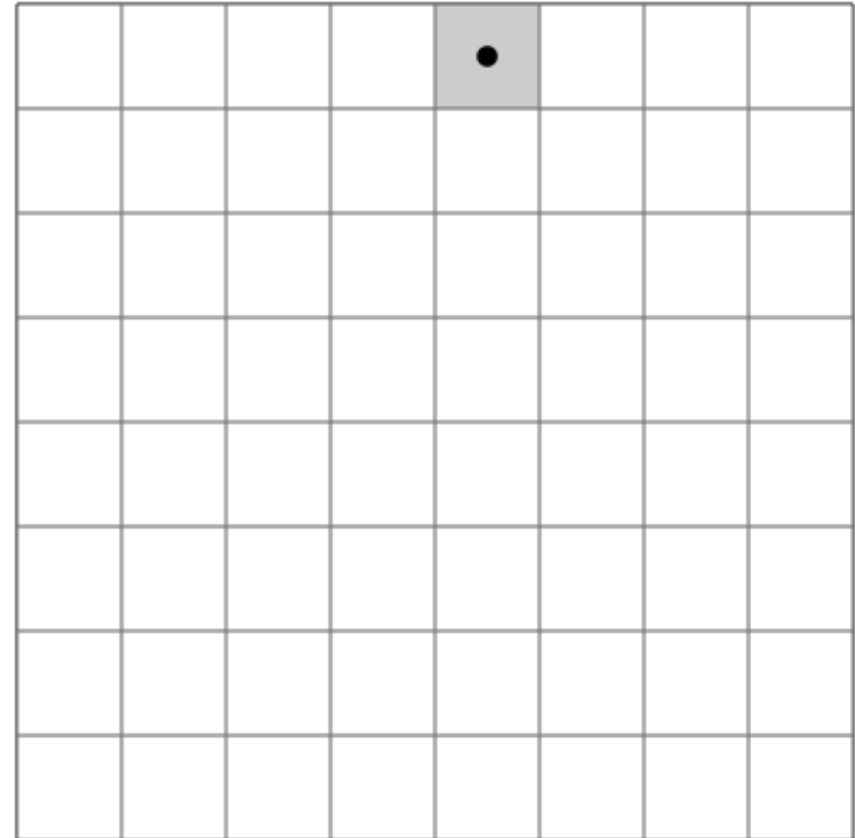
62

Chess



15	62	19	34	1	50	31	46
18	35	16	63	32	47	2	49
61	14	33	20	51	4	45	30
36	17	60	13	64	29	48	3
11	58	21	40	5	54	27	44
22	37	12	59	28	41	6	53
57	10	39	24	55	8	43	26
38	23	56	9	42	25	54	7

Knight



オイラーの Knight Tour

63



- Found by
Leonhard Euler
- Magic square
+
Knight tour

1	48	31	50	33	16	63	18
30	51	46	3	62	19	14	35
47	2	49	32	15	34	17	64
52	29	4	45	20	61	36	13
5	44	25	56	9	40	21	60
28	53	8	41	24	57	12	37
43	6	55	26	39	10	59	22
54	27	42	7	58	23	38	11

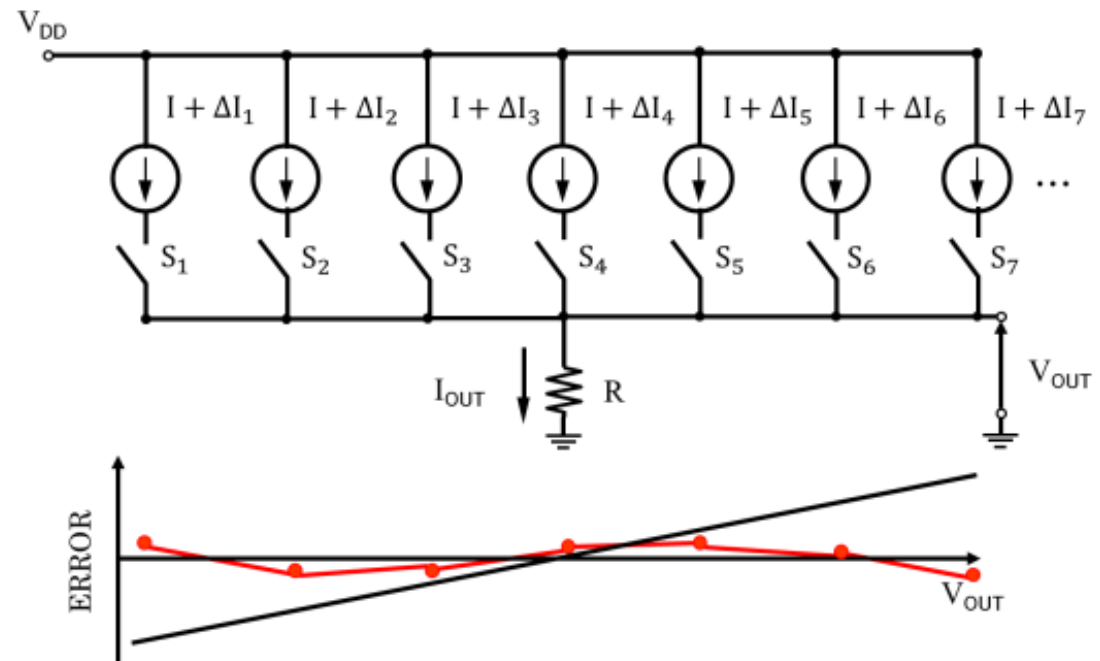
260 260

8x8 Euler's Knight Tour

単位セル選択アルゴリズムによる線形成向上

◆ DA変換器 - システマティック・ミスマッチとレイアウト

S4	S8	S12	S5
S14	S10	S6	S1
S9	S13	S2	S15
S3	S7	S16	S11



スイッチング順序を変える事によりエラーをキャンセル



魔方陣+ナイトツアー配列

素数DA変換器

+	2	3	5	7	11	13	17	19
2	4	5	7	9	13	15	19	21
3	5	6	8	10	14	16	20	22
5	7	8	10	12	16	18	22	24
7	9	10	12	14	18	20	24	26
11	13	14	16	18	22	24	28	30
13	15	16	18	20	24	26	30	32
17	19	20	22	24	28	30	34	36
19	21	22	24	26	30	32	36	38

↑ Prime number

← Prime number



Christian Goldbach
1690-1764

ゴールドバッファの予想 「全ての偶数は2つの素数の和で表せる」

素数抵抗ネットワーク、デコーダ回路、2つの電流源、2つのスイッチ配列でDA変換器を構成できる。



アナログ回路が少ないので 先端微細LSIで実現に適している。

- 大学での工学の研究教育
- アナログ半導体の重要性
- フィボナッチ数列と黄金比
- フィボナッチ逐次比較近似AD変換器
- 黄金比サンプリング
- 様々な研究事例
- 最後に
- 付録

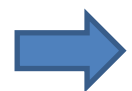
アナログ技術を「匠の技」から「サイエンス」へ

「匠の技」「センス」「経験」を主張していると、
アナログ人口は増えず、産業は伸びない。

技術でうまくいく、いかないというのは
「理屈」がある。

それを科学的に解明し

体系的な設計論、教育システムを確立するべき。



その一つとして古典整数論の活用

付録

大学はどのようなところか

群馬大学大学院 理工学府

小林春夫

「大学の教育の価値は、
事実を数多く学ぶことではない。
教科書からは学べないことを考えるよう、
頭を鍛えることである。」

「学校で学んだことを
一切忘れてしまった時に、
なお残っているもの、それこそ教育だ。」

「稽古とは、一より習い十を知り、
十より返る、もとのその一。」

(千利休)

「知って覚えたことを
直ぐに言葉には出すことをせず、
不断に学び続けて、
これを人に教える。」 (論語)

「大学は専門的な知識を成果に結びつける、
そのやり方を教えるところである。」

「大学はさまざまな専門分野の知識を集めて
成果に結びつけるところである。」

(経営学者 ピーター・ドラッカー)

「知識の奴隷になるのではなく、
知識を縦横無尽に使いこなす。」

（松下幸之助）

「知識」は本の中にはない。
本の中にはあるのは「情報」である。
「知識」とはそれらの「情報」を仕事や成果に
結び付ける能力である。

（ピータードラッカー）

「大木を育てるには小さな種をまく必要がある。
小さなことから始めよ。
小さなことを大切にせよ。」

(リチャード W. ハミング、ベル研究所)

「着眼大局 着手小局」

「発想は、単純、素直、自由、簡単でなければならない。

発想を実行に移すには知識がいる。

習熟された技がいる。

考えがよくても、

下手に作ったものはうまくは動かない。」

(カーネギーメロン大学 金出武雄 教授)

「自然は美しい」という考え方

75

「原天地美達萬部物理」 莊子

天地の美に基づきて、万物の理に達す

物理学者 湯川秀樹が好んだ言葉



「自然の書物は数学で書かれている」

ガリレオ・ガリレイ

「もの作り」だけではない。
「新しい社会作り」ができる。

イノベーション:

新しい技術もとに、
社会的意義のある新たな価値を創造し、
社会的に大きな変化をもたらす変革。

蒸気機関の発明: 馬車から鉄道へ

→ 社会が大きく変わる

机上の空論ではなく、実際に“**現場**”で
“**現物**”を観察し、“**現実**”を認識した上で
問題解決を図る。**(三現主義)**

「現場、そこに発想の原点がある。
facts こそが よりどころである。」

(東大名誉教授 北森俊行先生)

「松下電器は人を作る会社です。
あわせて電気製品を作っています。」

（松下幸之助）

「情報化社会においては、
いかなる組織も学ぶ組織にならねばならない。
同時に教える組織にもならなければならない。」

（ドラッカー）

学問の心得、自戒

足代弘訓（江戸時代後期の国学者）

人をあざむくために学問をしない。

人とあらそうために学問をしない。

人をそしるために学問をしない。

人の邪魔をするために学問しない。

自分を自慢をするために学問をしない。

名を売るために学問をしない。

利をむさぼるために学問をしない。

宇都宮高校の生徒の時代にはじめて聴く。自分を戒める。

The mediocre teacher tells.

凡庸な教師は指示をする。

The good teacher explains.

良い教師は説明をする。

The superior teacher demonstrates.

優れた教師は範となる。

The great teacher inspires.

偉大な教師は内なる心を揺り動かす。

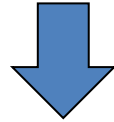
(教育学者 William Arthur Ward)

「悪しき専門家」になるな

81

新しいことをやろうとする。

トラブルに対処する提案をする。



できないという理由をすぐ5つあげる。

A winner finds solutions, a loser finds excuses.

解決策を見つける人は勝者となり、
言い訳を見つける人は敗者となる。

アカデミズムの世界では重要

新しい知見・研究結果



公開・発表してはじめて意味をもち
成果として認められる。

研究室からの海外国際学会参加・発表 83



● 教員

任期制。Tenure をとるまで大変。

研究成果をあげ論文を書かねば生き残れない

Publish or Perish

学生の授業評価も 教員の重要な評価項目

休講したら必ず補講を行う(契約社会)

● 学生

卒業が大変

教員、学生はハードに仕事・勉強する。

- 教授は産業界との共同研究



- 最先端の研究テーマ

産業界によい研究テーマ・先端技術情報あり

- 共同研究費の一部をテーマ担当の
大学院生の奨学金(生活費、授業料程度)に



- 大学院生は産業界の先端技術を身につけ
ハイテク企業に就職

- 学界だけでなく産業界もリード。
- 博士号取得者は産業界でも高く評価され、給与、地位がよい。
- 博士号の有無は歴然とした社会的立場の差あり
- 幅広い知識
Major (専攻) と Minor (副専攻)2つ
- レベルも高い。Doctor of Philosophy ↔ Ph.D.
- 日米競争力の差との指摘もある。



日本でも求められつつある。

「この地上で大学ほど美しいものは、そう多くはない。
なぜなら、そこには無知でありたくない人たちが
真理探究のために集まり、
真理を知った人たちが、
それを広めようとしているからである。」
(英国 教育者、ジョン・メイスフィールド)

「私が数学の研究をするのは人間の名誉のためだ」
(フランス 数学者 アンドレ・ヴェイユ)

中東：キリスト教、イスラム教、ユダヤ教

死海：湖面が海より低い。湖水が流れ出さない。

塩分が高く、植物・魚はほとんど生きられない。

ガリラヤ湖：湖水が河となり流れ出す。

まわりは豊かな緑で花が咲き乱れている。

繁栄するためには「得る」だけはだめ。

「与え」なければならない。

Input だけではだめ。

Output をださなければならない。

Output をだすための訓練が卒業研究。



Commencement

Commencement (コメンズメント)の
本来の意味は「始まり」

米英では学位授与式、卒業式のこと。
「新しい生活の始まり」