

前回の補足：日本の美しさ“白銀比”

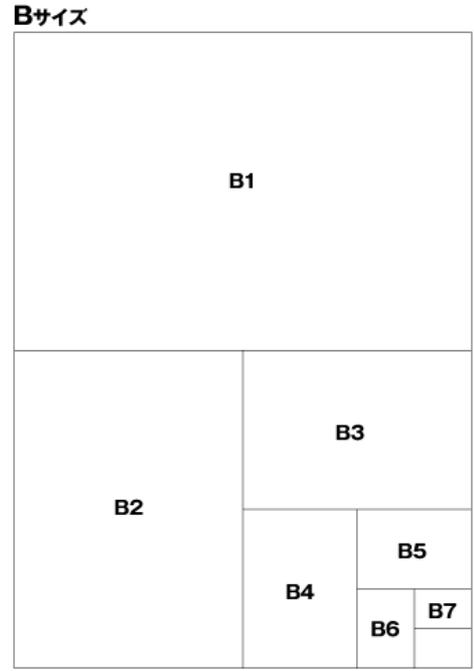
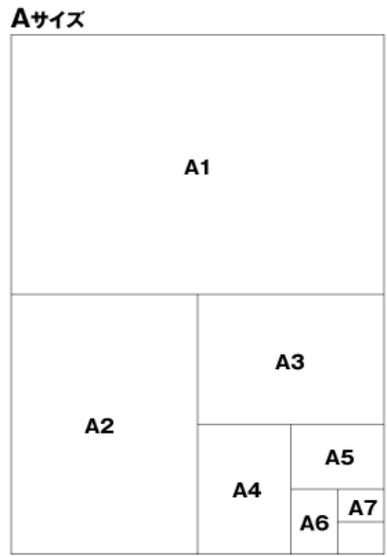
日本人が思う美しい比率

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

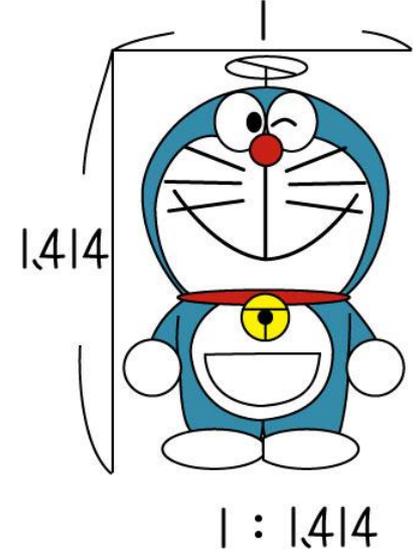
コピー用紙
A版、B版とも 縦横比率が白銀比

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

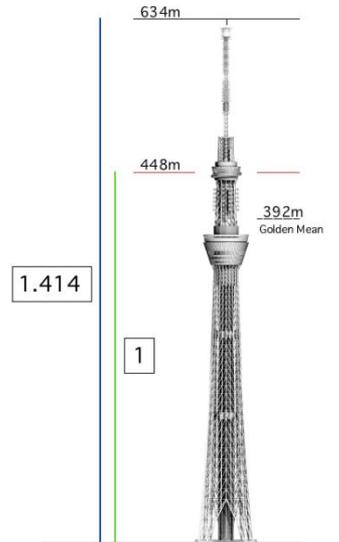
コピー用紙



キャラクター



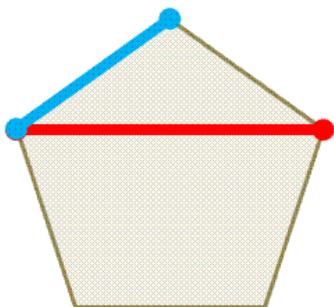
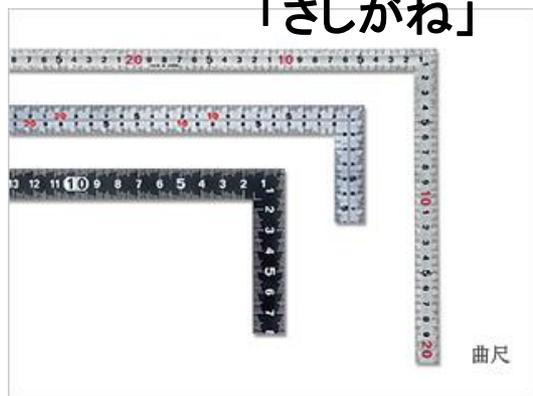
スカイツリー



前回の補足：日本の美しさ“白銀比”（続き）

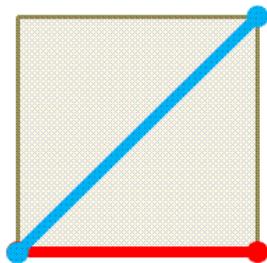
日本人は風呂敷、畳、法隆寺等 正方形を好む。

日本古来の工具
「さしがね」



黄金比

1 : 0.618



白銀比

1 : 1.414

法隆寺

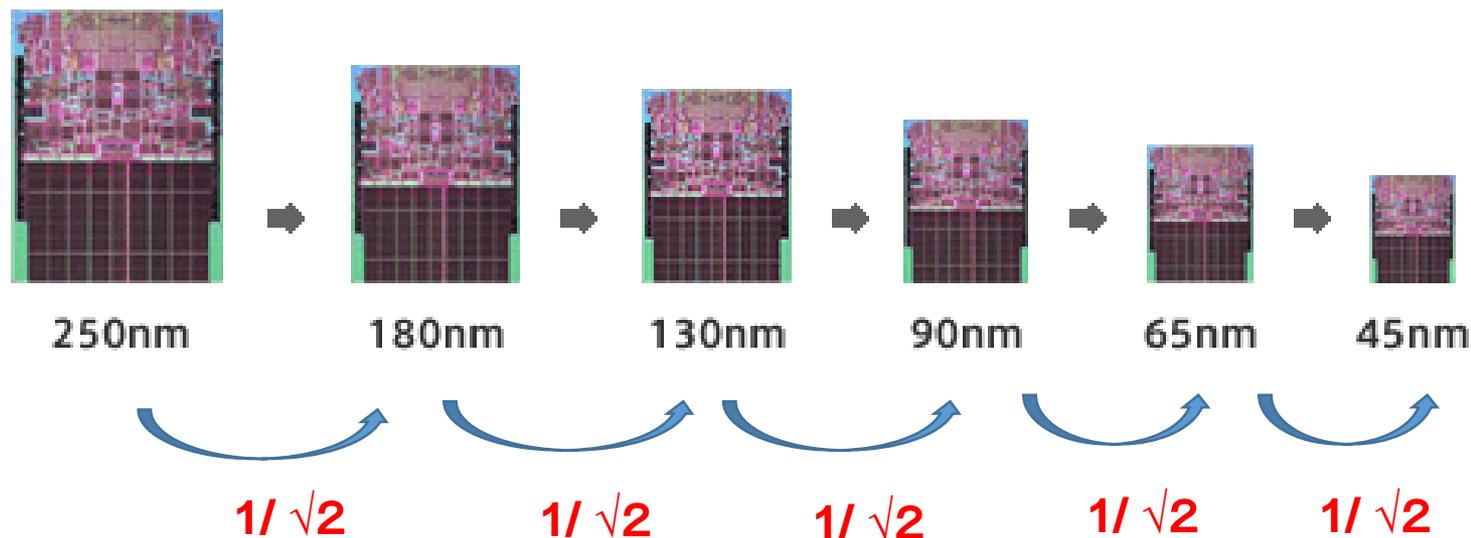


正方形：丸い材木から
最も無駄を出さない切り方。

無駄を好まない島国の心。

前回の補足：集積回路と“白銀比”

LSIプロセス進展



黄金比は動的な比率 (無限の螺旋)

⇔ 白銀比は静的な比率 (合理化)

両者に発展の可能性が存在する。



魔方陣をつかった電子回路

セグメント型デジタル・アナログ変換器 (Digital-to-Analog Converter: DAC) 魔方陣レイアウト技術による線形性向上

小林春夫

koba@gunma-u.ac.jp

<http://www.el.gunma-u.ac.jp/~kobaweb/>



アナログ信号とデジタル信号

アナログ信号

連続的な信号

例：自然界の信号（音声、電波）、アナログ時計
「坂道」

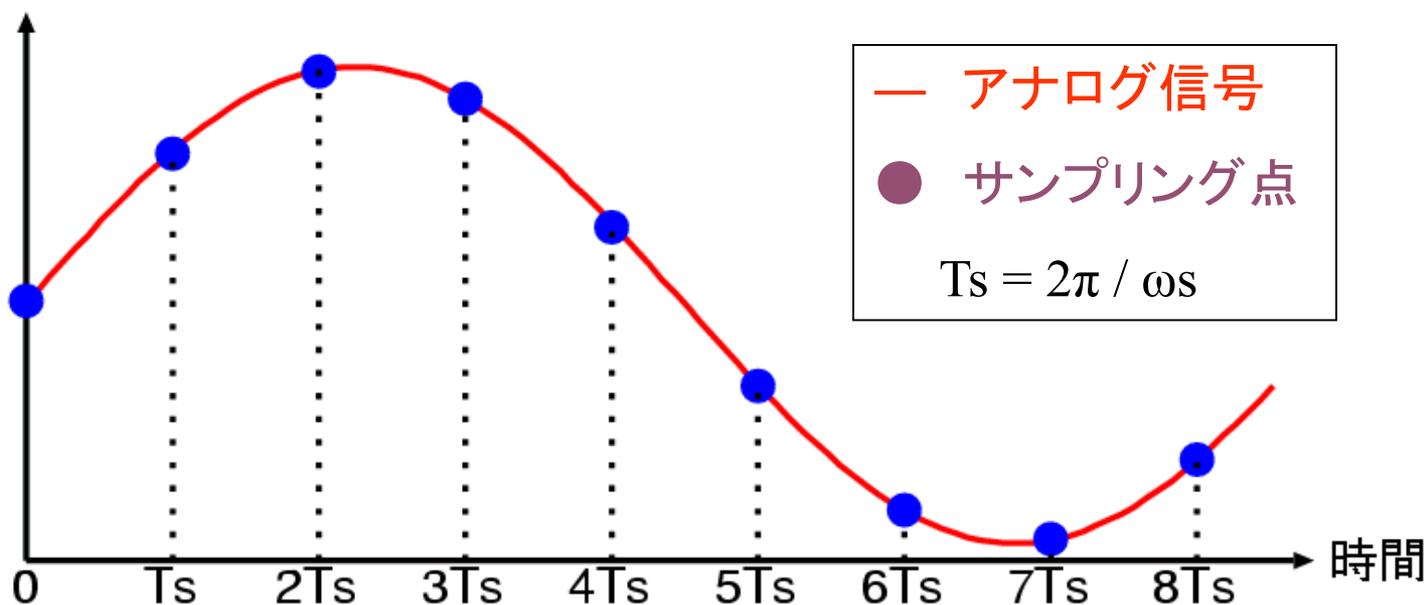
デジタル信号

離散的・数値で表現された信号

例：コンピュータ内での2進数で表現された信号
デジタル時計
「階段」

デジタル信号の特徴(1)

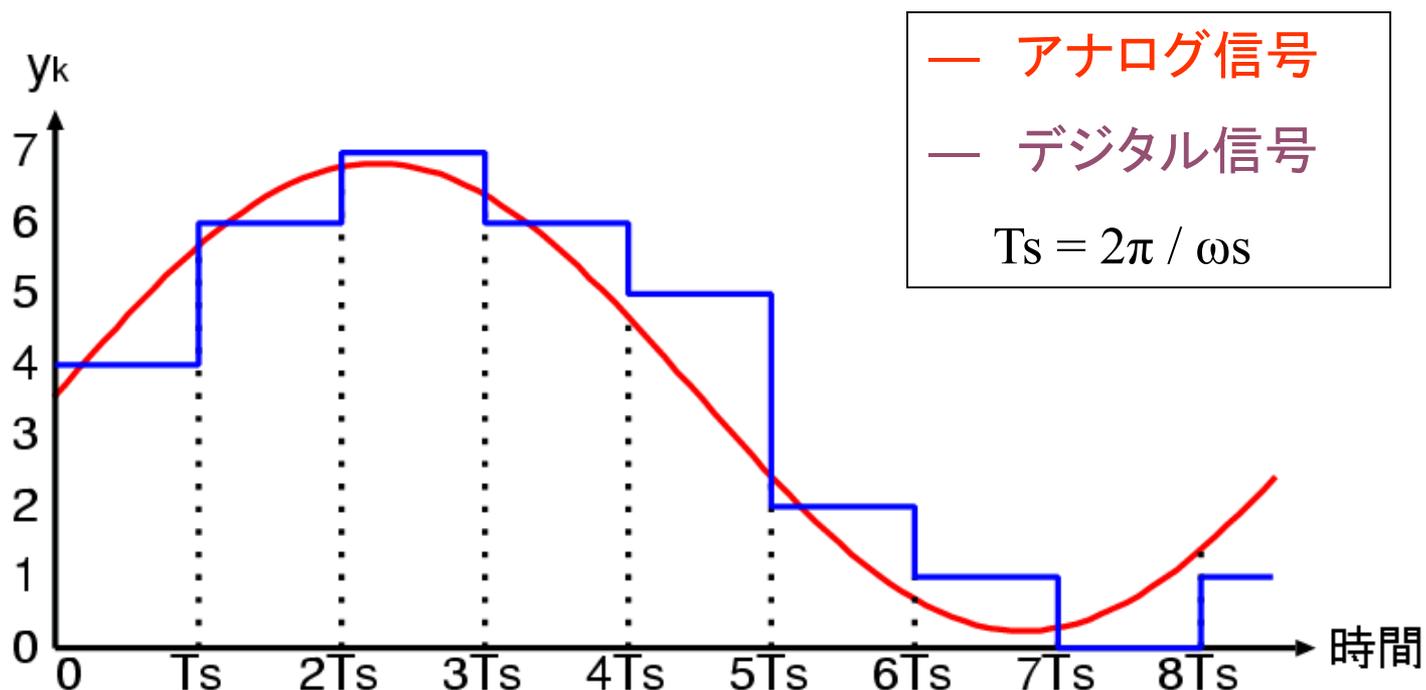
時間の量子化 (サンプリング)



一定時間間隔のデータを取り、間のデータは捨ててしまう。

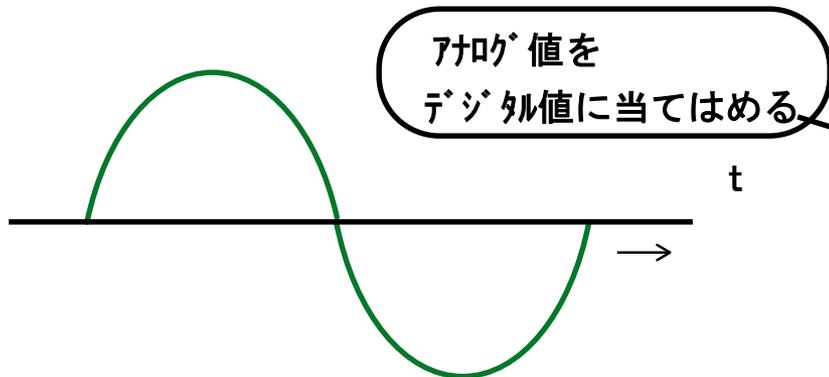
デジタル信号の特徴(2)

空間の量子化 (信号レベルの数値化)

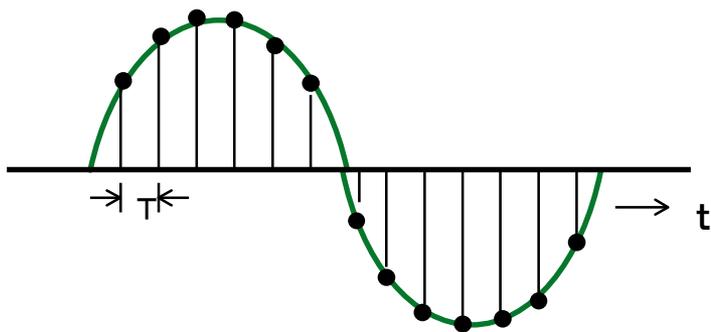


デジタル信号はアナログ信号レベルを
四捨五入(または切り捨て)

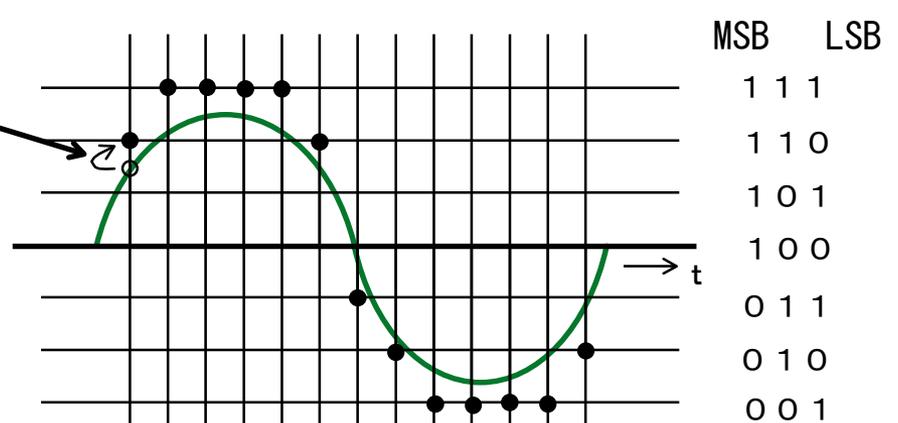
アナログ -> デジタル 変換波形



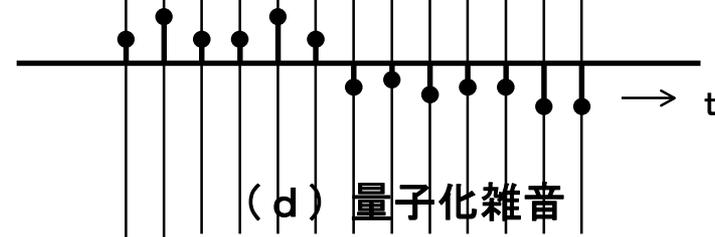
(a) アナログ入力



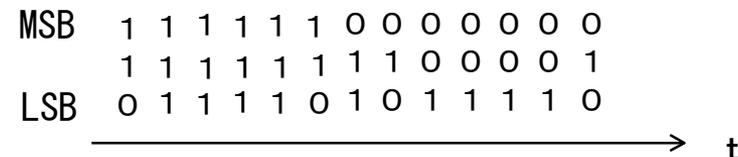
(b) 標本化



(c) 量子化



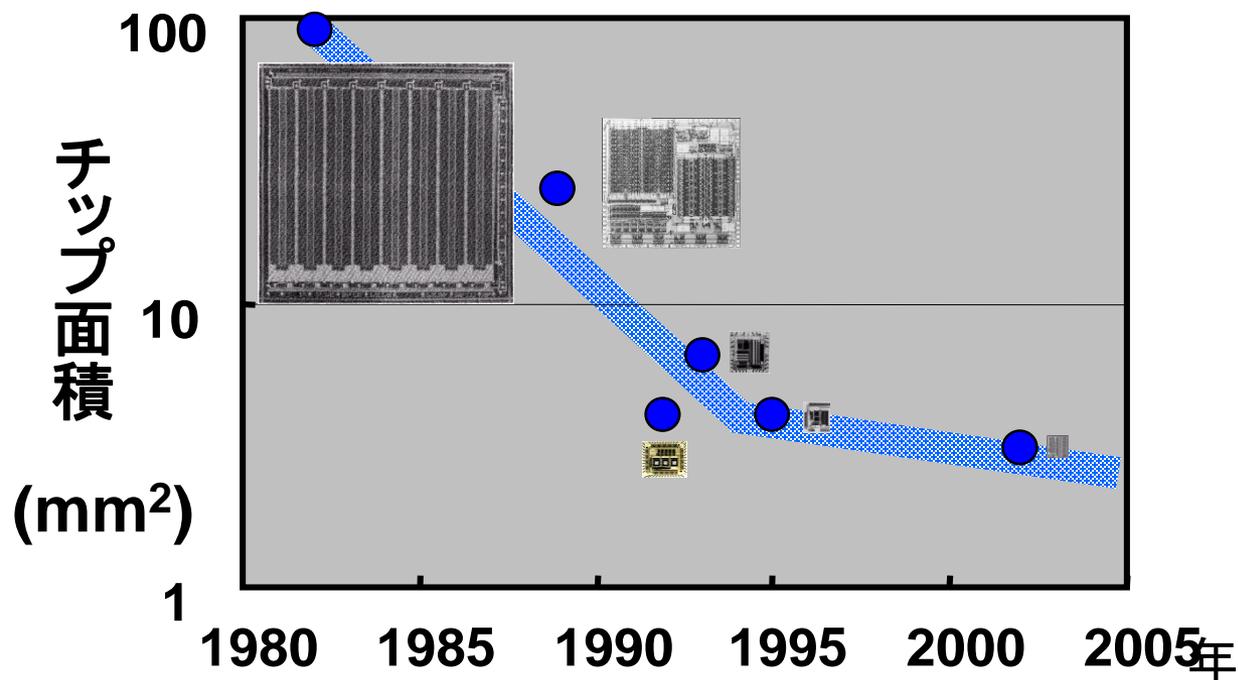
(d) 量子化雑音



(e) 符号化

AD変換器の熾烈な研究開発競争

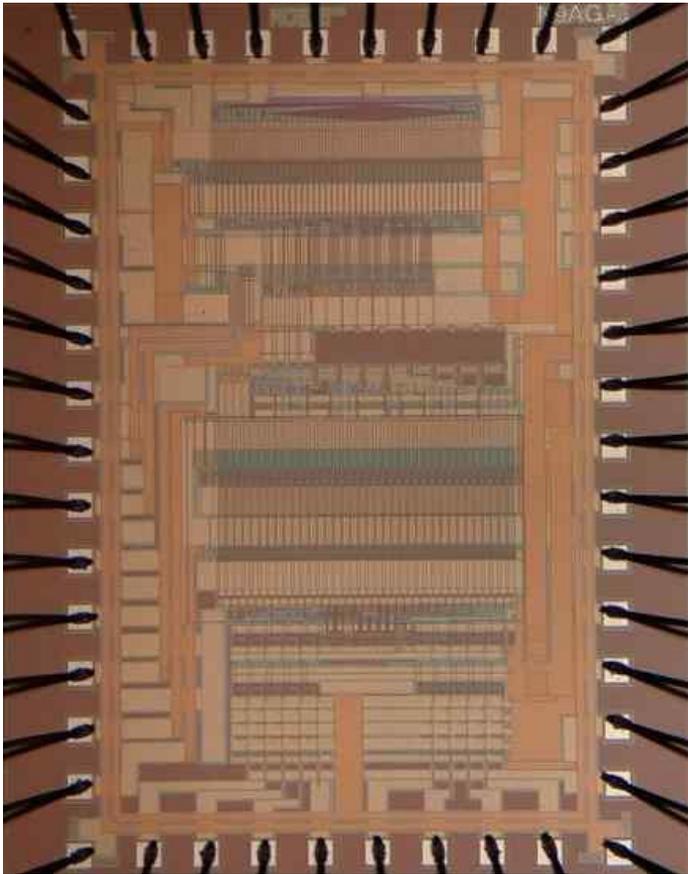
半導体プロセス、アーキテクチャ、回路構成の進歩により
性能向上スピードがデジタルLSI以上。



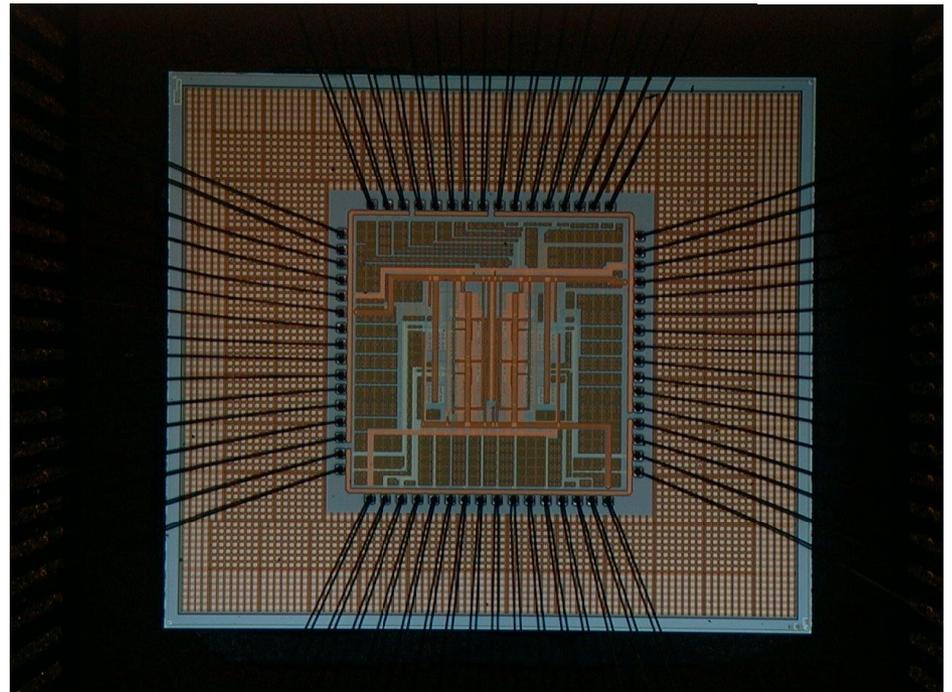
武蔵工大
堀田先生
作成資料

10ビットビデオ用AD変換器のチップ面積推移

群馬大と半導体メーカーの共同研究開発 CMOS A/D変換器

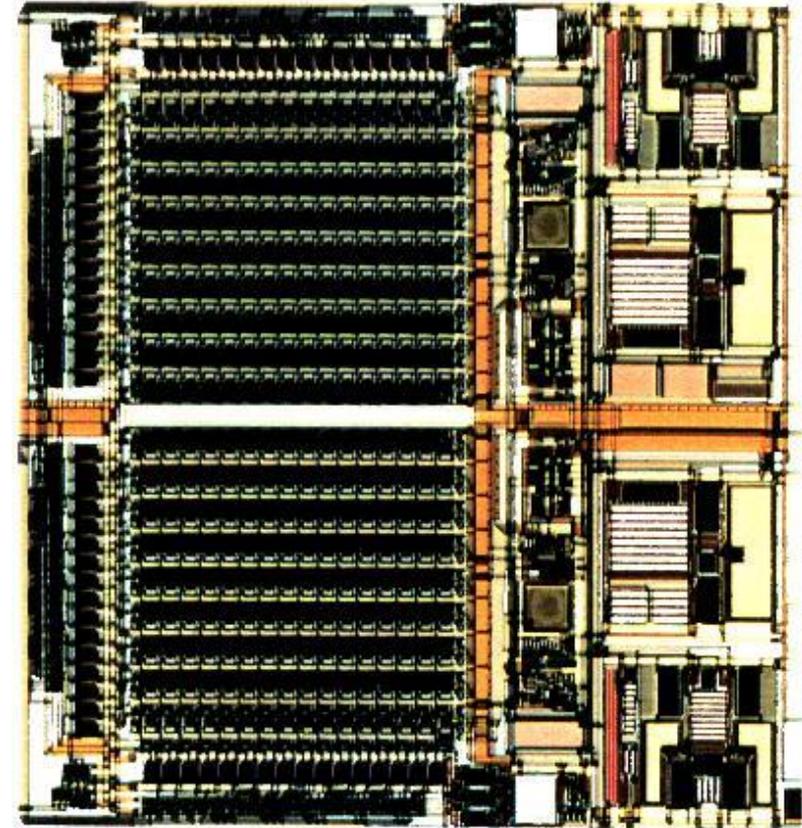
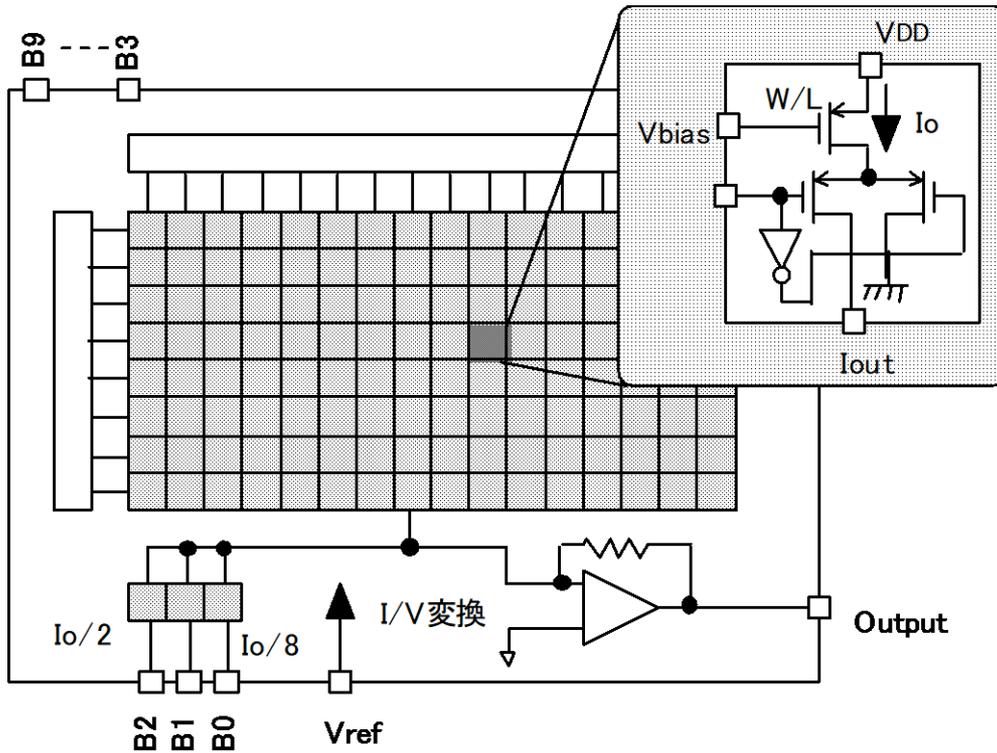


三洋電機との共同開発



ルネサステクノロジ社との
共同開発

サーボ用10ビット電流型DA変換器



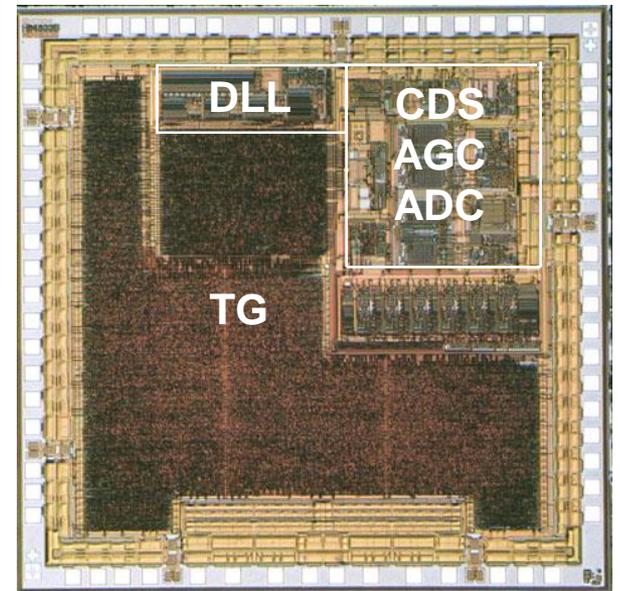
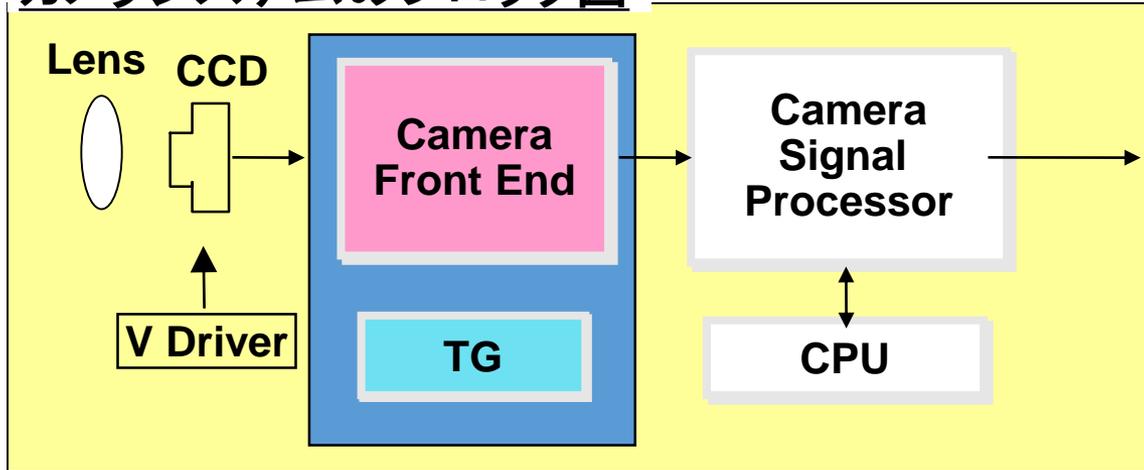
0.8 um CMOS 1.31 mm²

DA変換器の性能

分解能	10 bit
積分直線性誤差	+0.11/-0.07 LSB
微分直線性誤差	+0.35/-0.47 LSB
消費電力	0.9 us (@5V)
整定時間	9.7 mW (@3V)
	21 mW (@5V)

カメラフロントエンドLSI

カメラシステムのブロック図



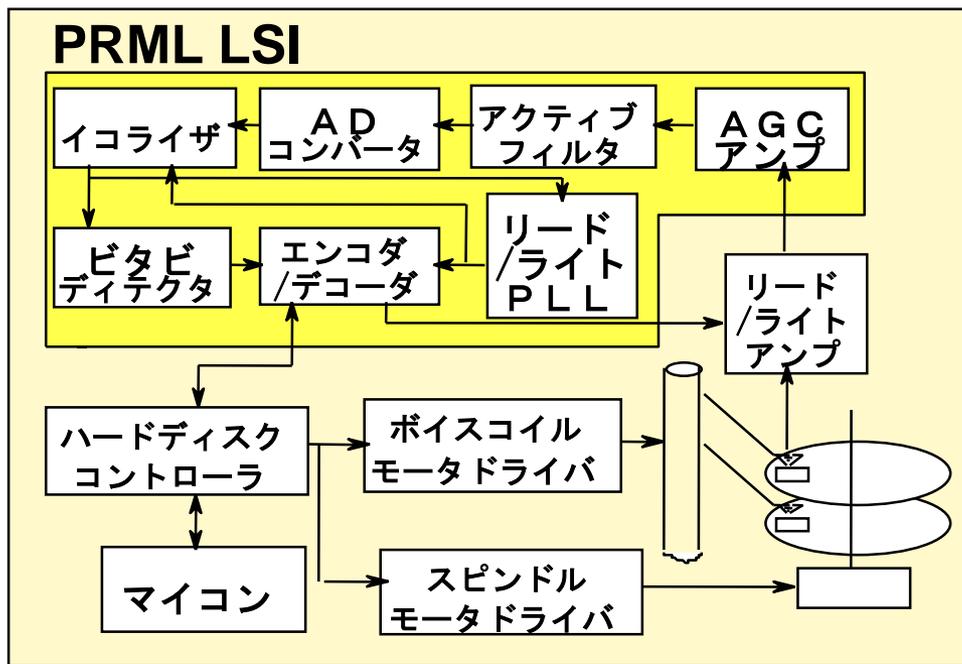
カメラフロントエンドLSI



携帯電話用カメラシステム

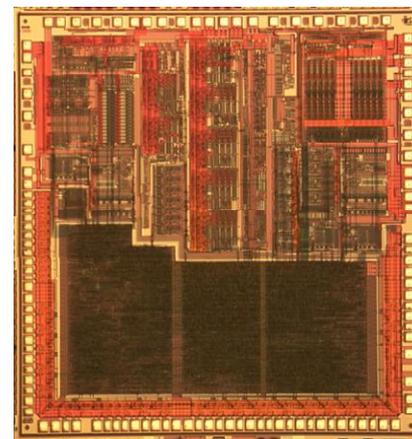
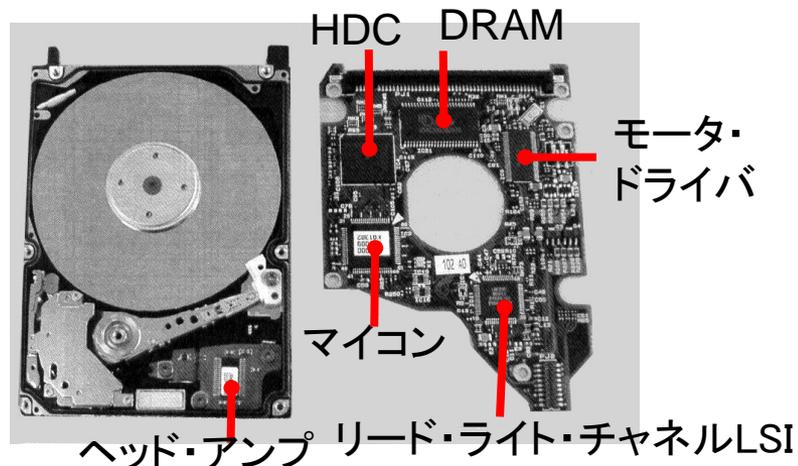
システムLSI内にAD/DA変換器が内蔵

HDD(ハードディスク・ドライブ)用信号処理LSI



HDDブロック図

システムLSI内にAD/DA変換器が内蔵
SoC (system-on-chip)



(200Msps, 0.35umCMOS)

HD153072(PRML)

トランジスタの発明者 ウィリアム・ショックレー

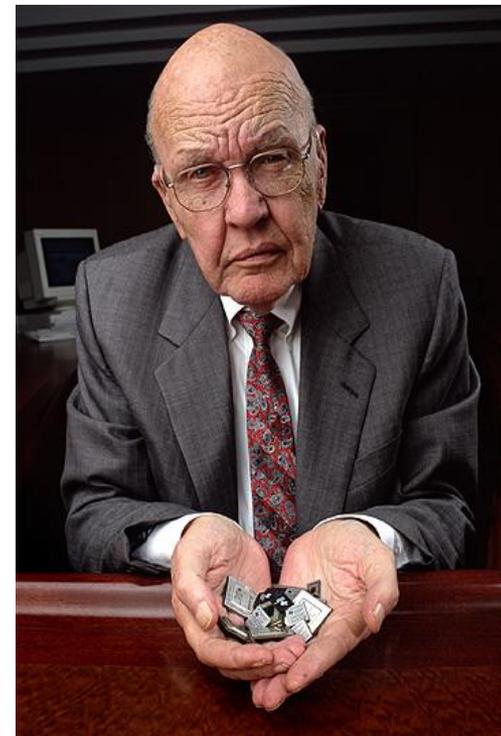
米国の物理学者。
1910年2月13日、
英国生まれ。
「トランジスタの父」と呼ばれている。
1989年8月12日没。



Texas Instruments(テキサス・インスツルメンツ)社のJack Kilby(ジャック・キルビー)氏が半導体集積回路を発明。

1958年の発明、
アメリカでは1959年に出願、1964年に登録。
日本では1960年に出願、1965年に公告。

この業績により2000年にノーベル賞を受賞。



特許の内容は、半導体でできた一枚の基板の上に抵抗やトランジスタ、配線などを形成し、全体として特定の機能をこなす電子回路を構成する方法。

すべてのICが対象となる基本特許であった。

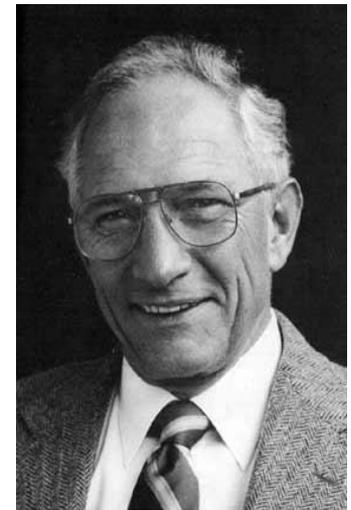
TI社は日本において、特許出願を分割する手法を駆使して特許の一部の成立を遅らせ、1986年に最後の特許が公告。「キルビー275特許」と呼ばれる。

この特許により、親特許が1980年に失効しているにも関わらず、半導体メーカーは2001年までTI社に特許使用料を支払わなければならなくなってしまった。これを「キルビー特許事件」という。

ロバート・ノイス

もう一人のICの発明者

米国の半導体技術者。
1927年12月12日、
アイオワ州バーリントン生まれ。
半導体集積回路の発明者の一人として、
Intel社の共同創業者とて知られている。
1990年6月3日没。



ロバート・ノイス

マサチューセッツ工科大学を卒業したノイスは、ウィリアム・ショックレー博士の直接の誘いを受けて、1956年からショックレー研究所に勤めた。しかしショックレーとの方針の違いが顕著になると、ゴードン・ムーアらと共に同研究所を去り、1957年、新たにFairchild Semiconductor社を創立。Fairchild社で半導体メモリーの研究開発と普及に努める。ほどなくして出資親会社と意見が衝突。ムーアと共にFairchild社を去り、Intel社を創設。

インテル社とロバート・ノイス

Intel社で半導体メモリーを中心に集積回路の研究開発を続けた。

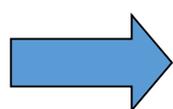
トランジスタの表面を酸化シリコンの皮膜で覆うプレーナー法を開発し、特許を取得。

マイクロプロセッサの研究開発も進められ、1970年にはIntelが世界初のDRAMを販売するなど、世界一の半導体企業の名声を揺るぎないものにした。ノイスは1970年まで社長・会長職に就き、「シリコンバレーの主」と称された。

計測制御機器とAD変換器

計測器(電子計測器)

制御システム(ファクトリーオートメーション):



アナログ回路は重要

例:



デジタルオシロスコープ内のAD変換器

デジタル信号処理システムと AD/DA変換回路



アナログ

デジタル

デジタル

アナログ

AD変換器: アナログ・デジタル変換回路

DA変換器: デジタル・アナログ変換回路

(重要) 自然界の信号は全てアナログ

ex. 音声、電波、電圧、電流、

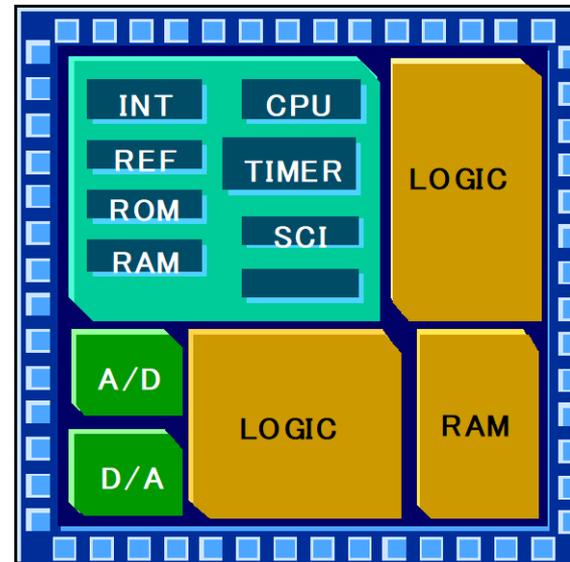
アナログ回路が不要になることはない！！

デジタル技術をささえる AD/DA変換器

自然界の信号は
アナログ



LSIでの信号処理は
デジタル

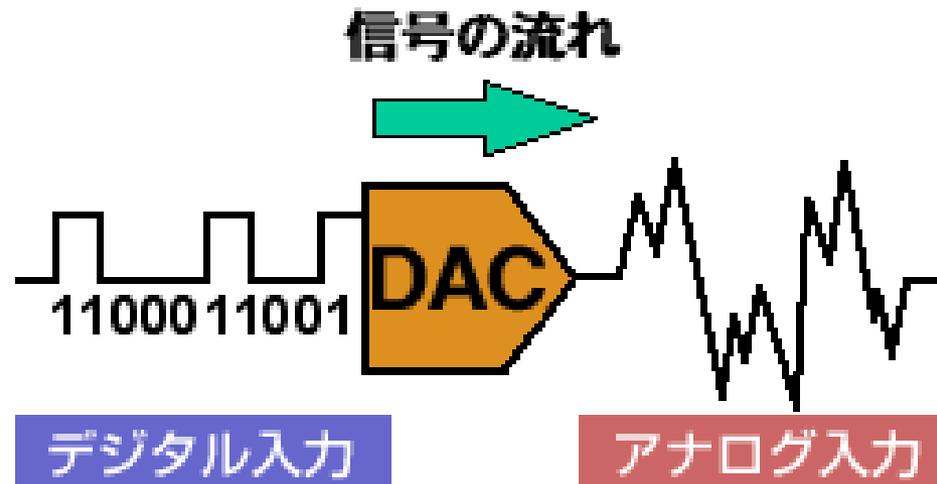


SOC:
System On a Chip

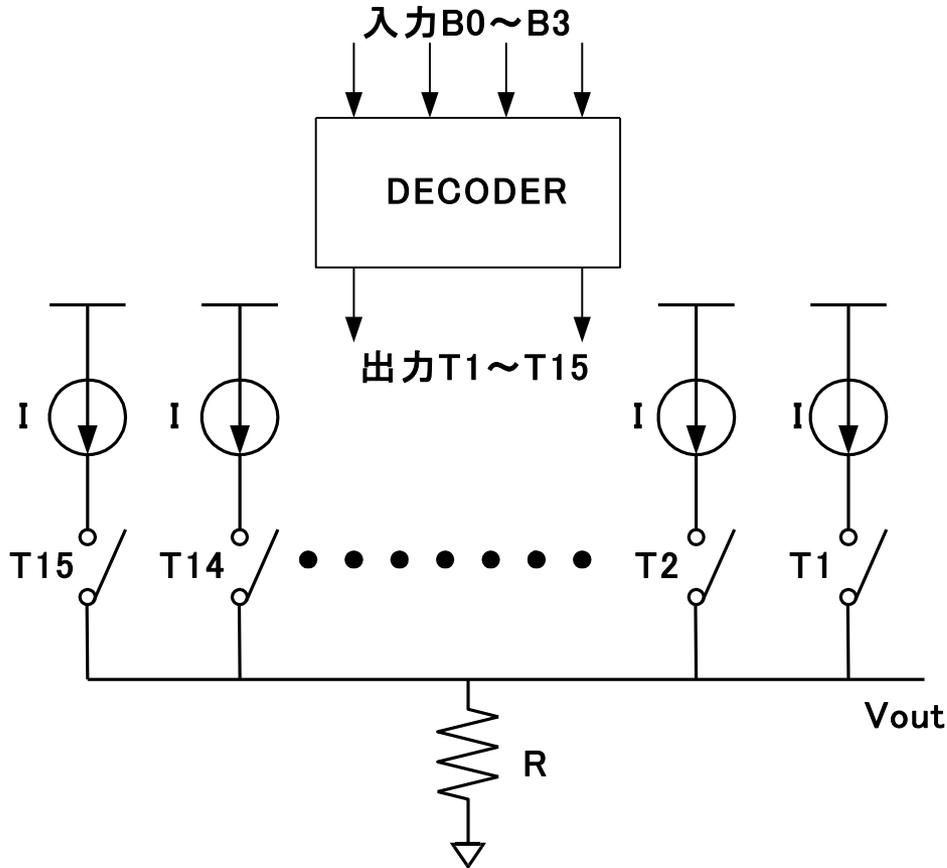
DA変換器

(Digital to Analog Converter)

離散的なデジタル値を連続的なアナログ信号に変換する回路



セグメント型DA変換器



4bitセグメント型DA変換器

● メリット

- ・グリッチが小さい
- ・入出力間の単調性が確保
できる

● デメリット

- ・回路規模が大きい
- ・サンプリング速度がやや低下する

確保

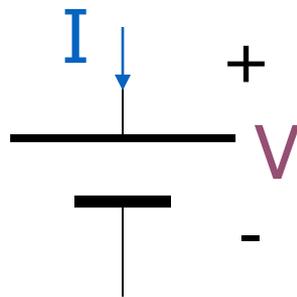
電圧源と電流源

電圧源： 流れる電流にかかわらず

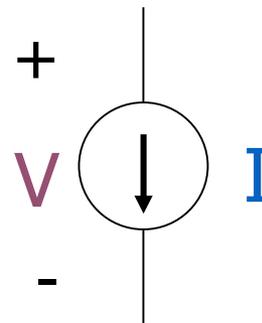
一定電圧 V を供給する。

電流源： 両端にかかる電圧にかかわらず

一定電流 I を供給する。

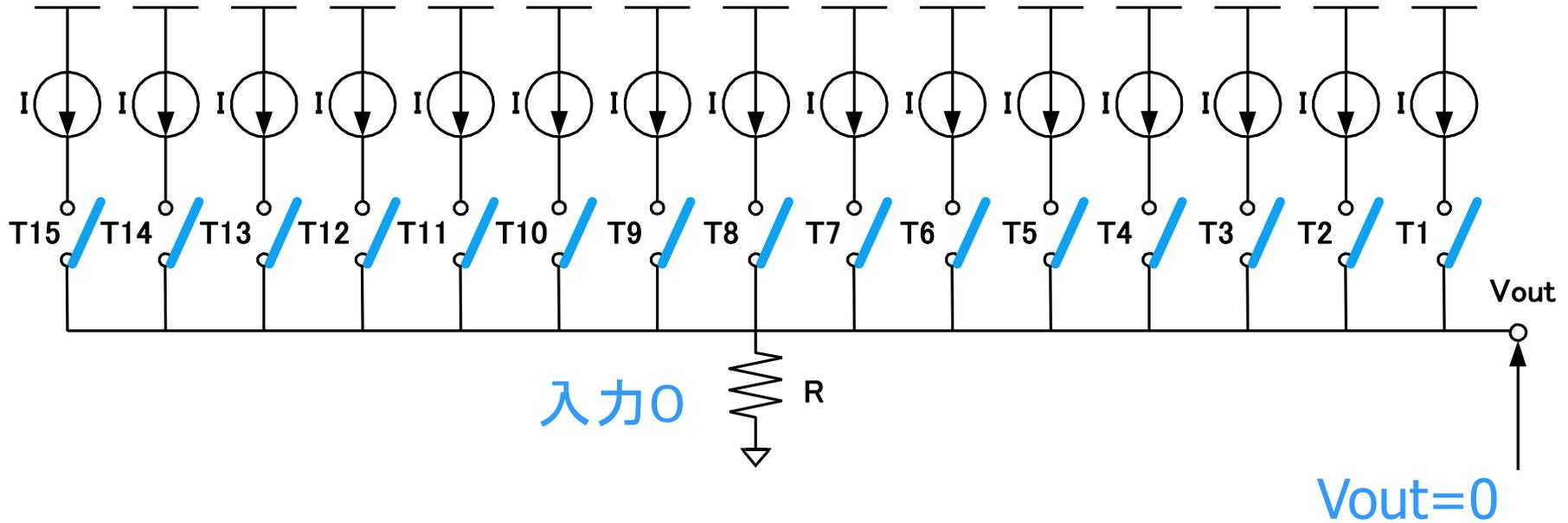


電圧源

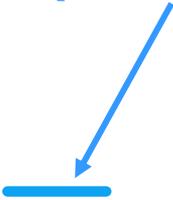


電流源

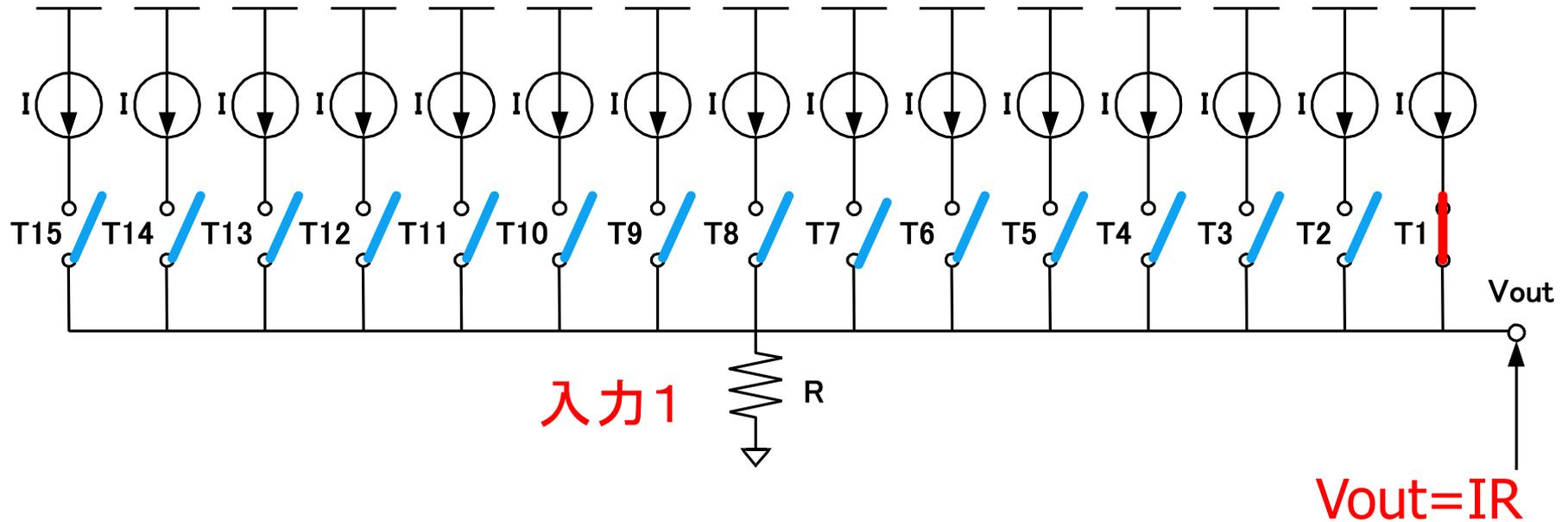
セグメント型DA変換器の動作



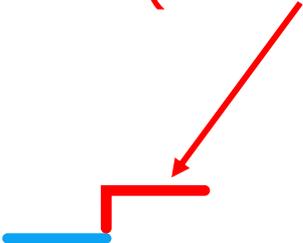
(0000000000000000)



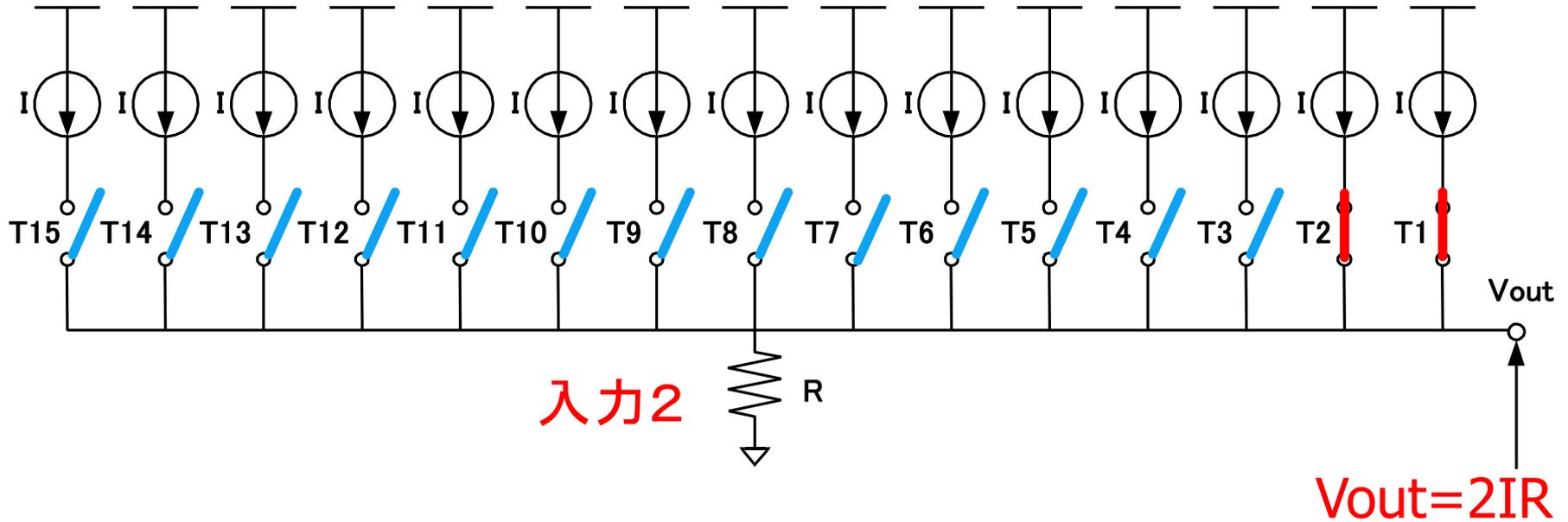
セグメント型DA変換器の動作



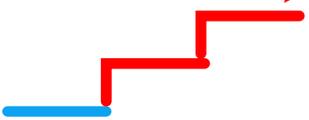
(0000000000000001)



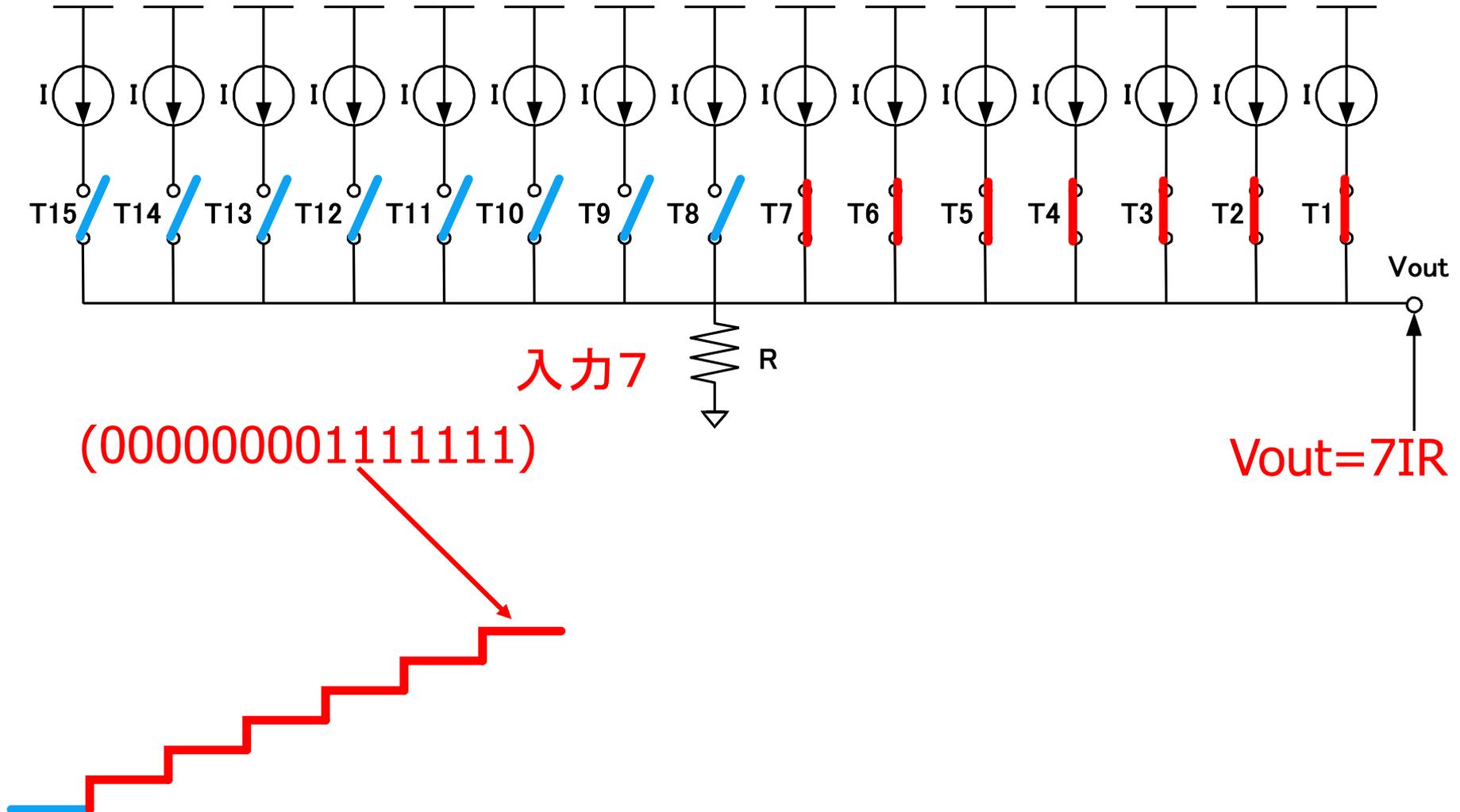
セグメント型DA変換器の動作



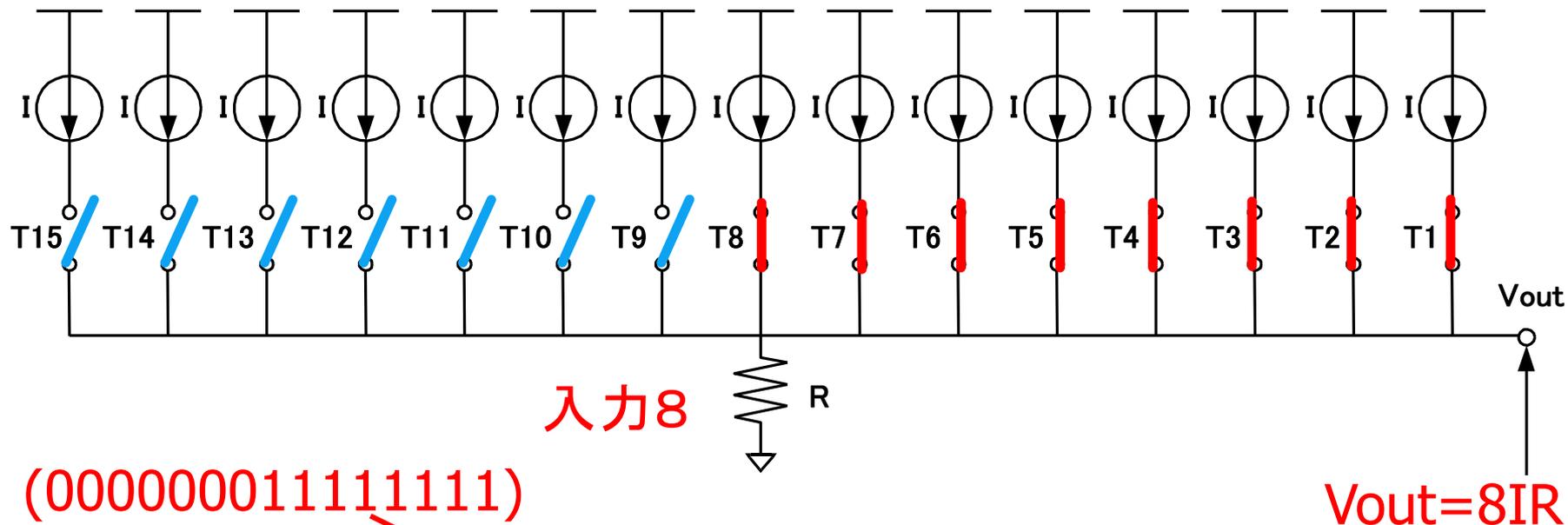
(0000000000000011)



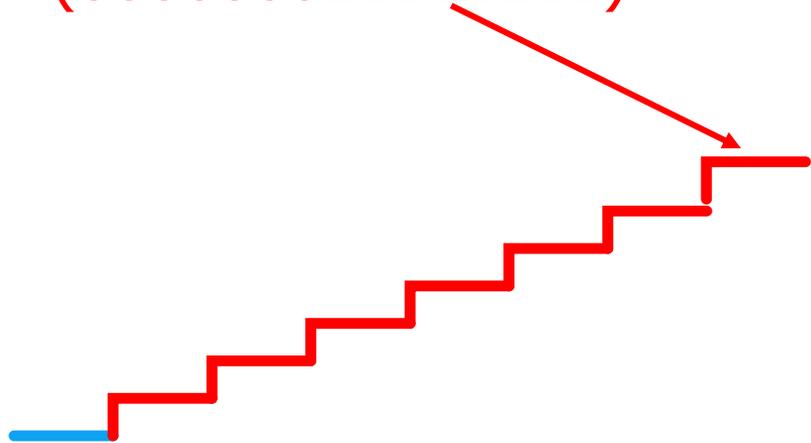
セグメント型DA変換器の動作



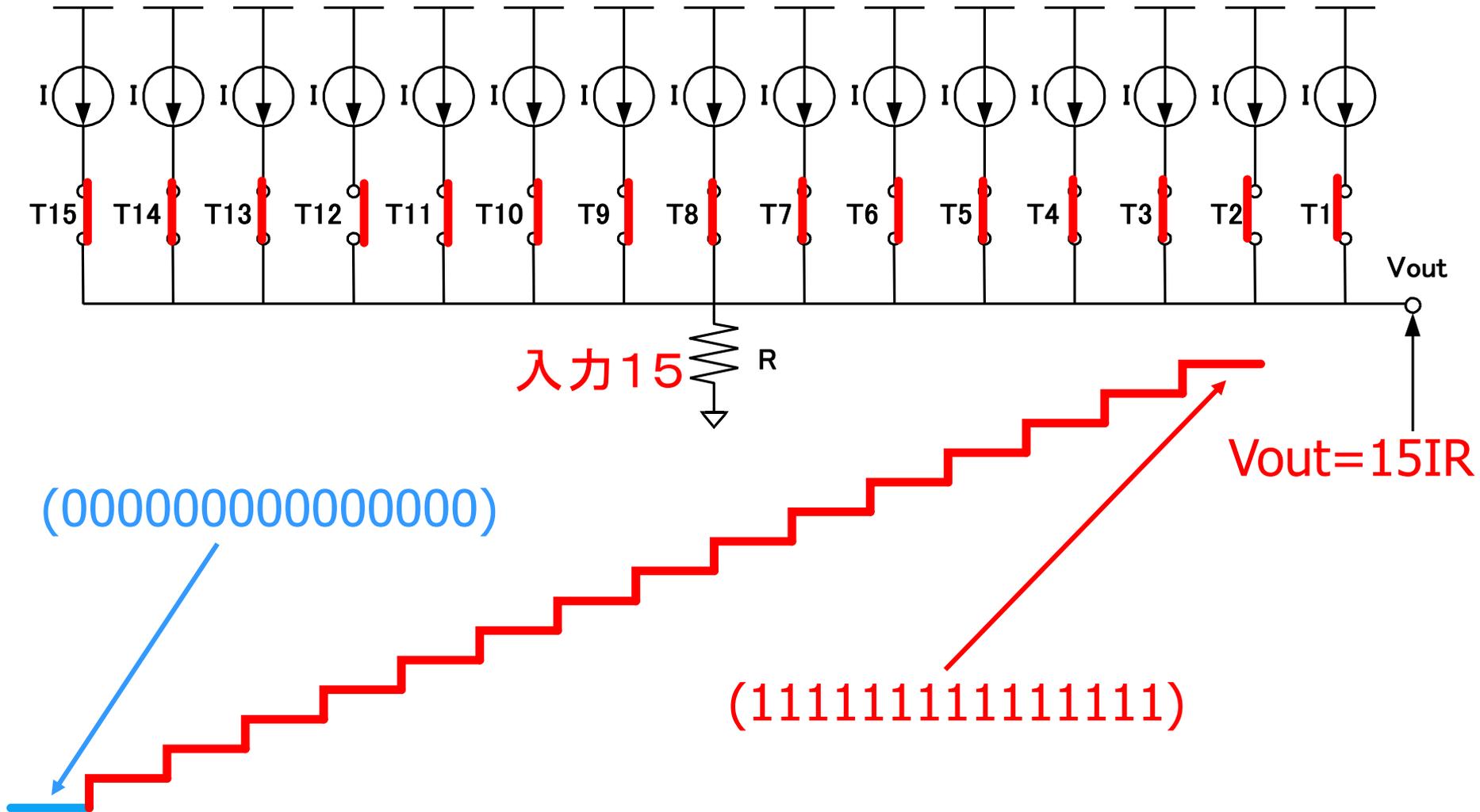
セグメント型DA変換器の動作



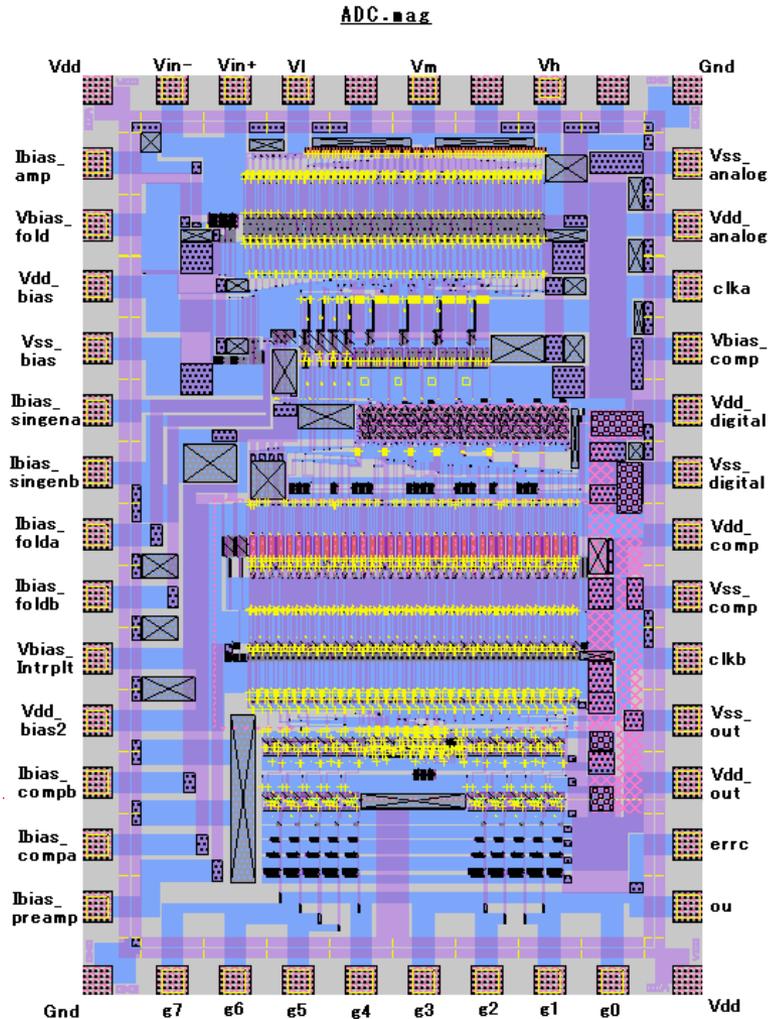
(000000011111111)



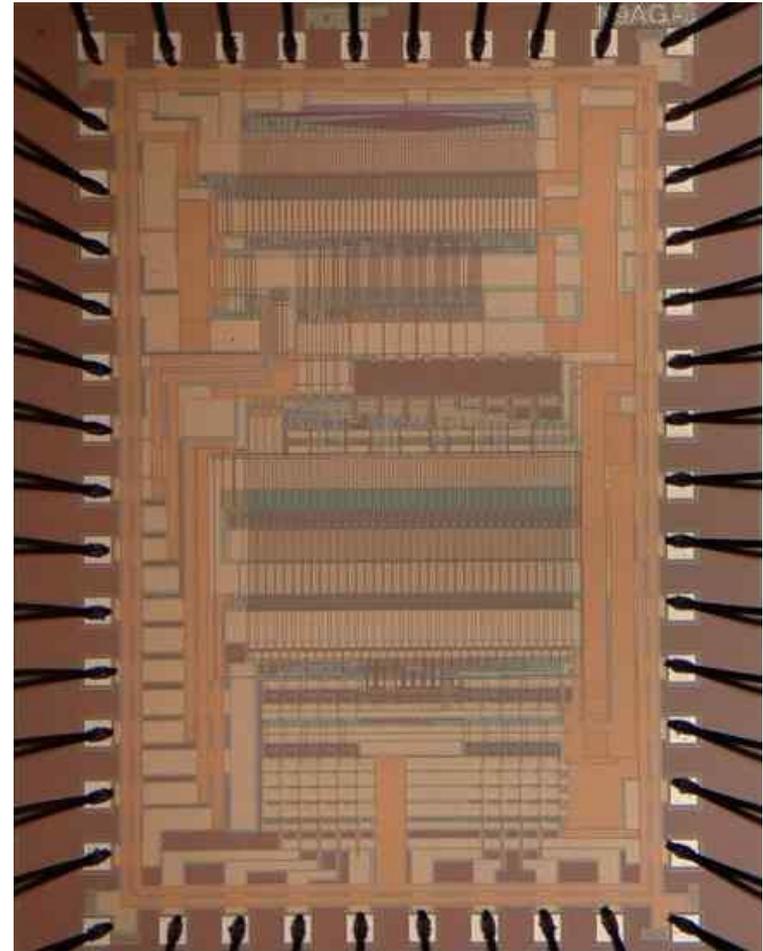
セグメント型DA変換器の動作



レイアウト設計 (ICパターン設計) とIC



CMOSアナログICの
レイアウト設計



レイアウト設計データをもとにファブリケーションされたチップ

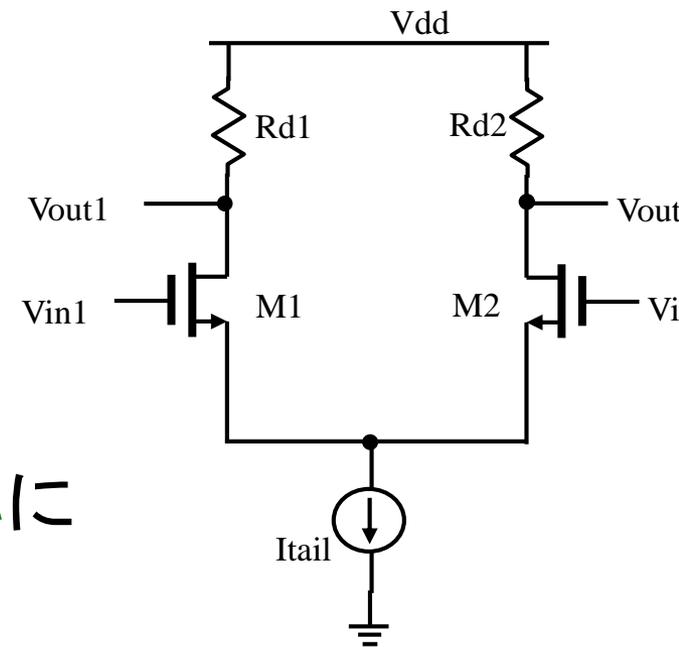
アナログ回路のレイアウト

- 見た目が美しいのは 良いレイアウト
- 「美しいレイアウト」とは何か

その一つとして

アナログ回路は差動回路が多用

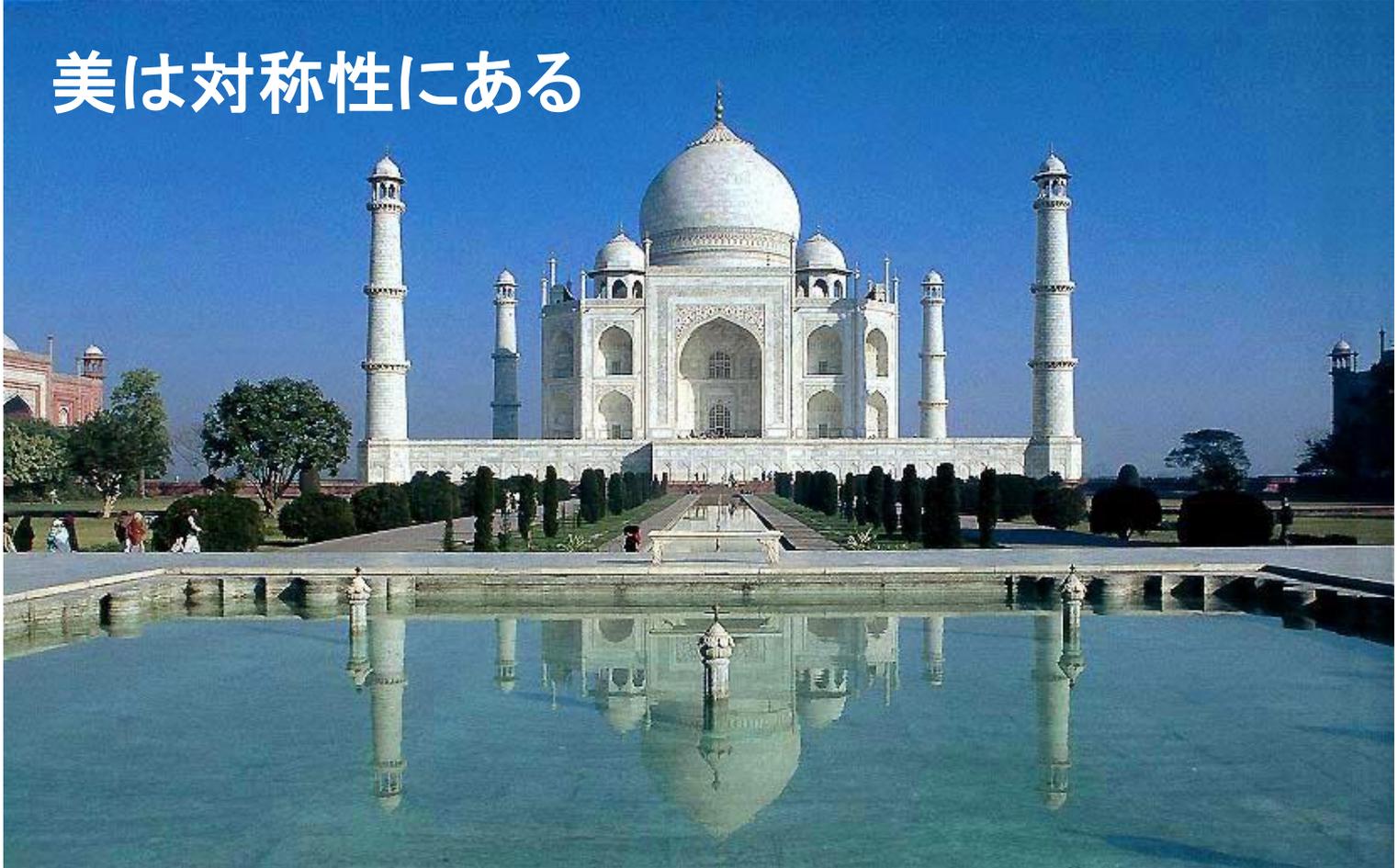
回路が対称 → レイアウトも対称に



差動回路
左右対称

レイアウト設計者が求める美しさ

美は対称性にある



タージマハール

群馬大学 白石洋一先生 資料より

タージマハール

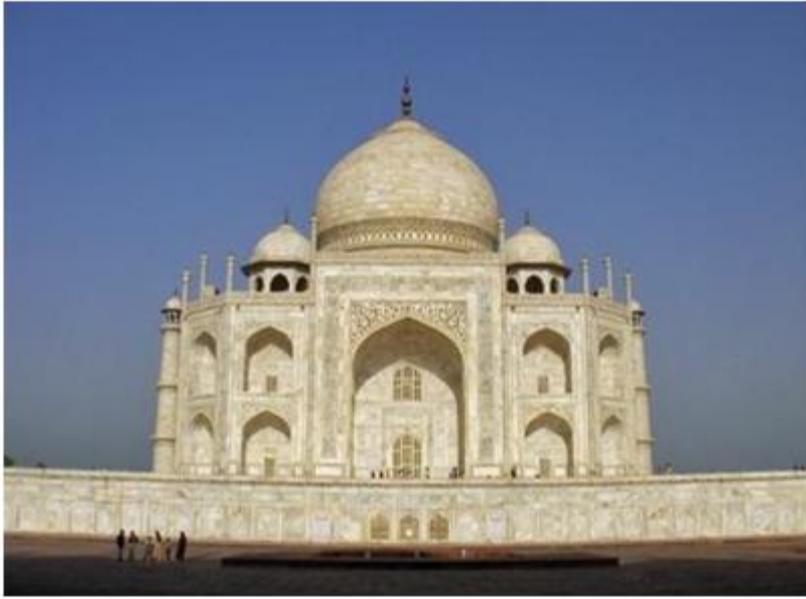


22年間かけて造営された
いとしい妻への記念碑

正確無比なシンメトリーが美しいパレス風の建物。
ムガル帝国5代皇帝シャー・ジャハーンが、
亡くなった王妃のために1632年から22年の歳月をかけて造営。

愛の代償は幽閉。シャー皇帝の予想外の末路
皇帝は晩年タージマハールの向かいに黒大理石の宮殿を
建てようとした。
第3皇子によって近くのアグラ城の塔に幽閉されてしまう。
理由はタージマハール建築での莫大な浪費。
皇帝は塔の中から7年間タージマハールを眺め、
その生涯を閉じた。

<http://www.ab-road.net/sekaiisan/tajimaharu/index.html>

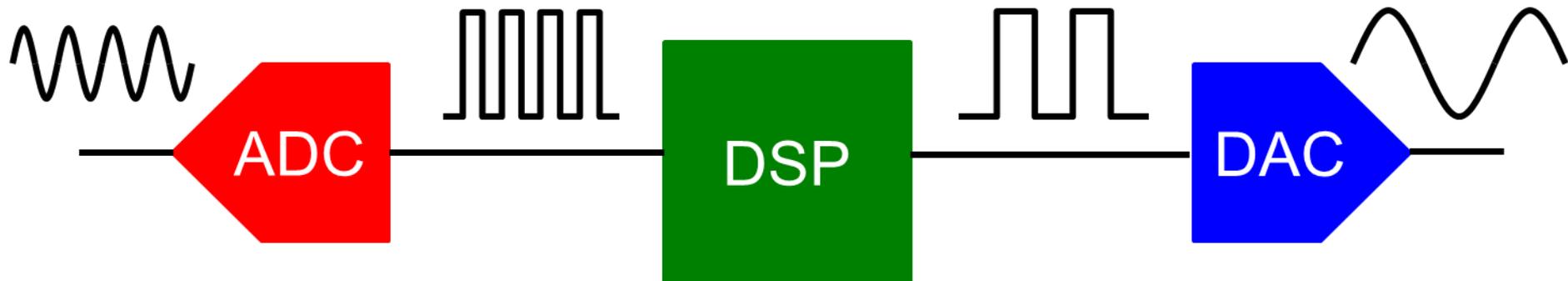


なぜ対称に作らなかったのか

UCLA Royce Hall 左右対称ではない



研究背景



高性能なDA変換器が求められている

研究目的

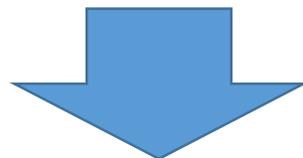
古典数学を用いた線形性向上アルゴリズムの考案

■ DA変換器の課題

DA変換器の入出力関係は、理想的に線形関係



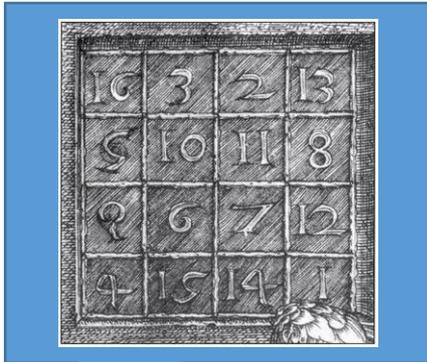
単位回路間の特性ミスマッチにより、入出力関係が非線形



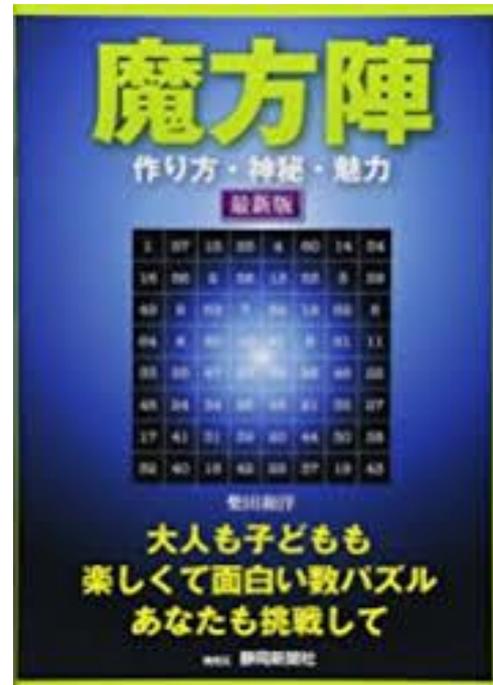
魔方陣を用いたレイアウトアルゴリズム

What is Magic Square(魔方陣) ?

みなさん、“魔方陣”をご存知でしょうか。



“方” は四角形の意



<http://www.ir.isplca.co.jp>

TIGER
タイガー電器



魔方陣について

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

様々な魔方陣

完全魔方陣

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

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

対称魔方陣

サイの目方陣

	○		○	○	○		○	
			○	○	○	○		○
	○		○	○	○		○	
○	○	○	○		○			
	○			○		○	○	○
○	○	○	○		○			
○		○				○	○	○
○		○		○		○		○
○		○				○	○	○

様々な魔方陣(続き 1)

✓ 同心魔方陣

外側からひと側ずつ取り除いても、定和性を失わない

数字が対称な位置にある

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

様々な魔方陣(続き 2)

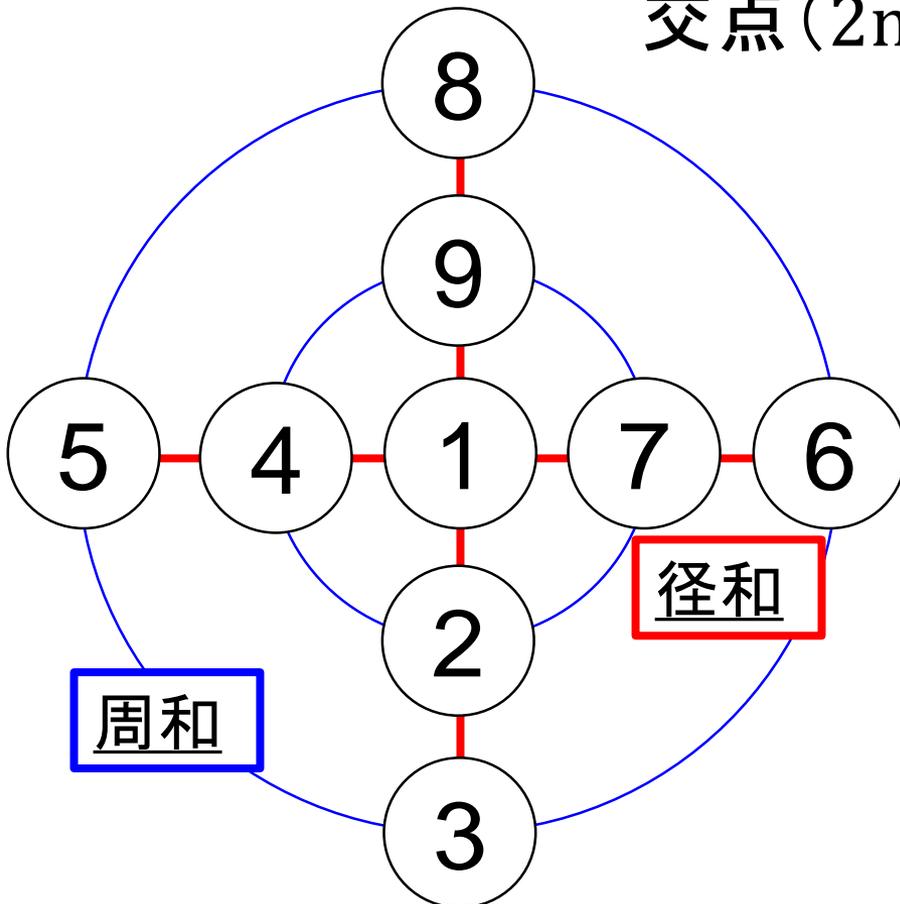
魔円陣：同心円と直径とを同じ個数だけ書き
交点($2n^2 + 1$ 個)に数字を置いたもの

$n=5$ (左図)

- 径和：直径上の $2n+1$ 個の和
- 周和：円周上の $2n$ 個の数と中心数の $2n+1$ 個の和

→ 径和と周和の一致

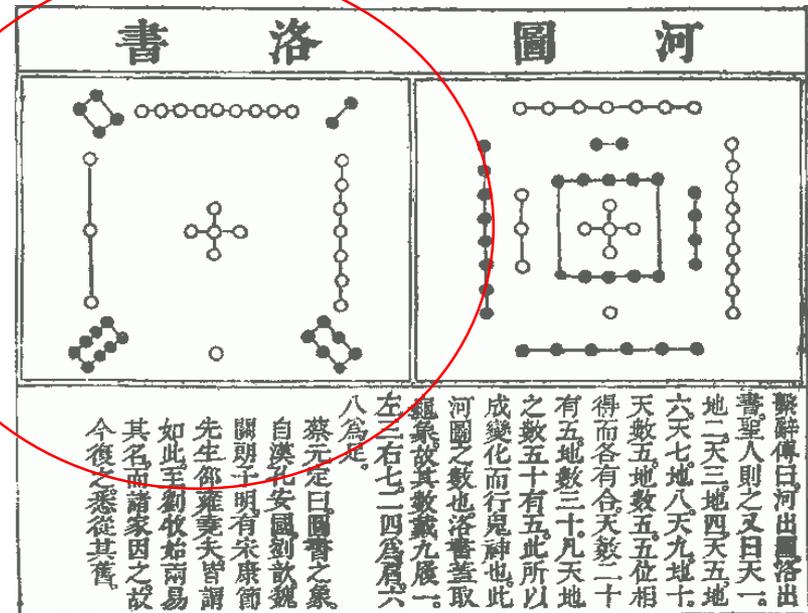
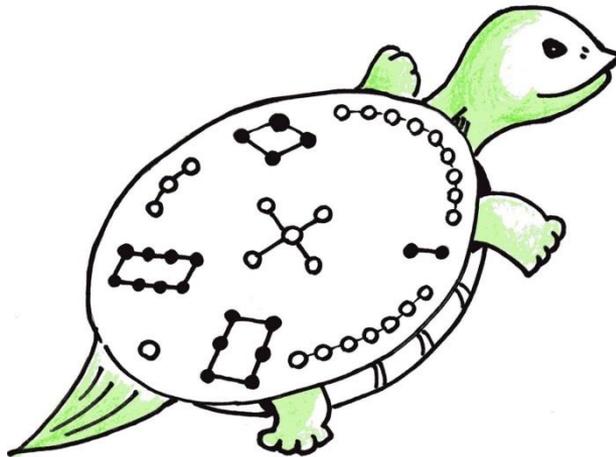
魔星陣, 立体魔方陣, etc,,,,,



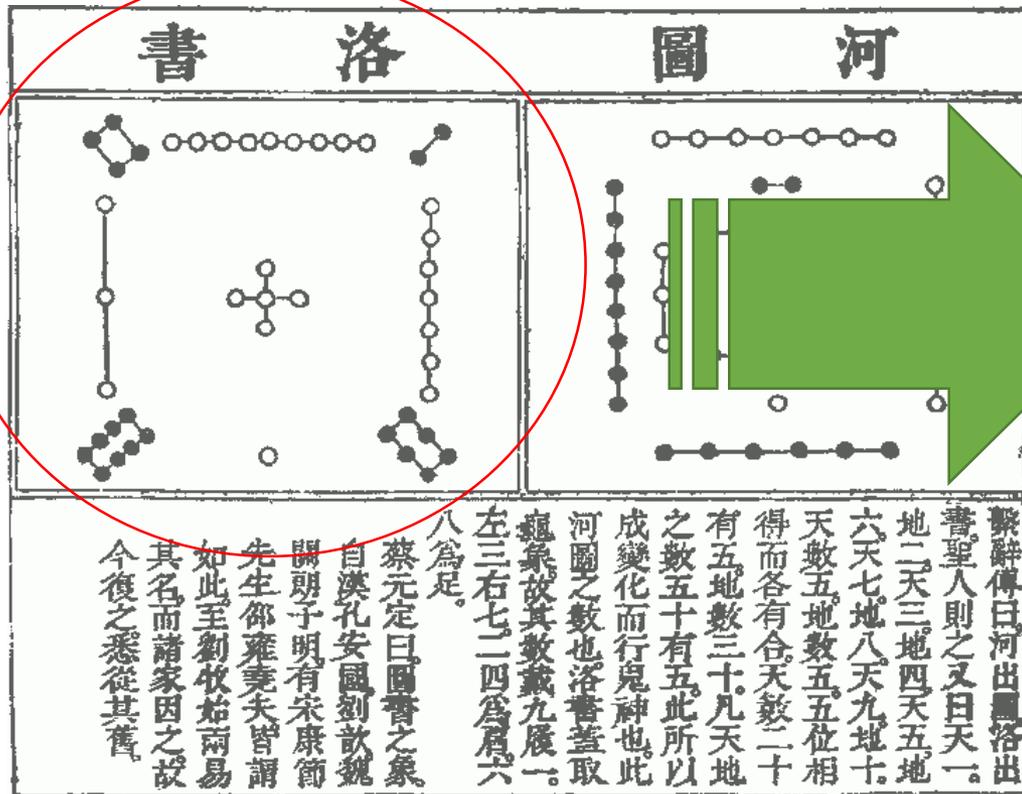
魔方陣の歴史（中国）

中国 紀元前

「夏(か)の禹王(うおう)が黄河の洪水を治めたとき、洛水から出た神亀の背に洛書が記されていた」



魔方陣の歴史（中国）



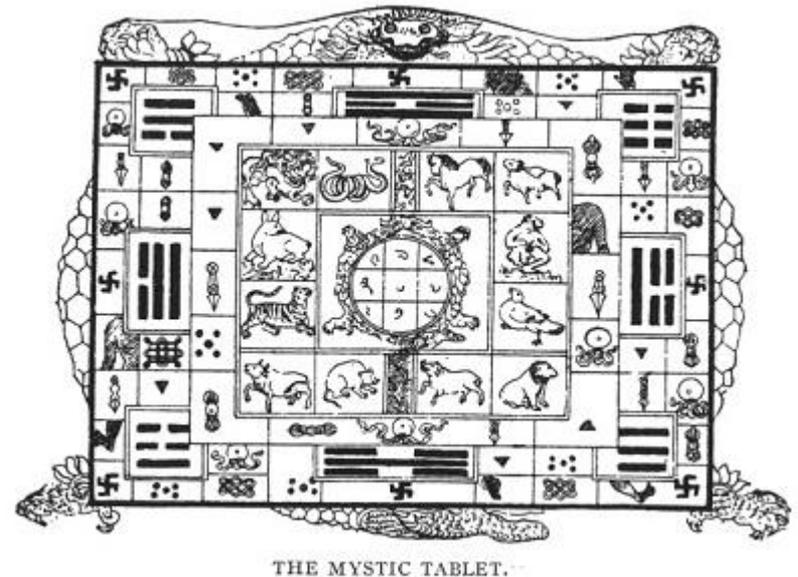
3次方陣

4	9	2
3	5	7
8	1	6

特殊な図であることから、
九星術の根本として占星家が使用

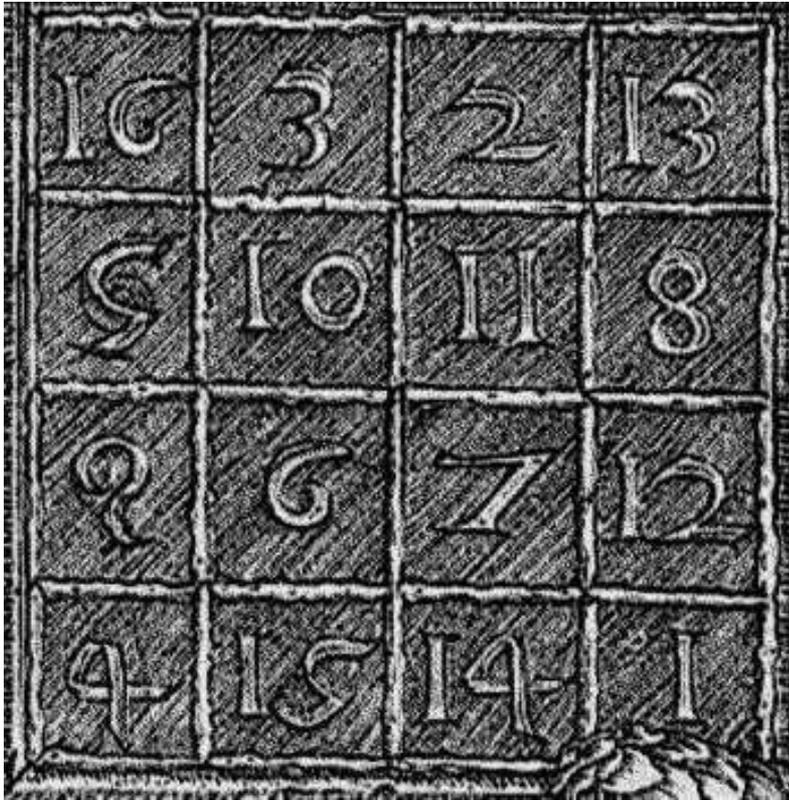
魔方陣の歴史（チベット、ネパール、ブータン）

中央の3次方陣の周りに十二支の動物を配した
“生物の輪”を刻んだお守り

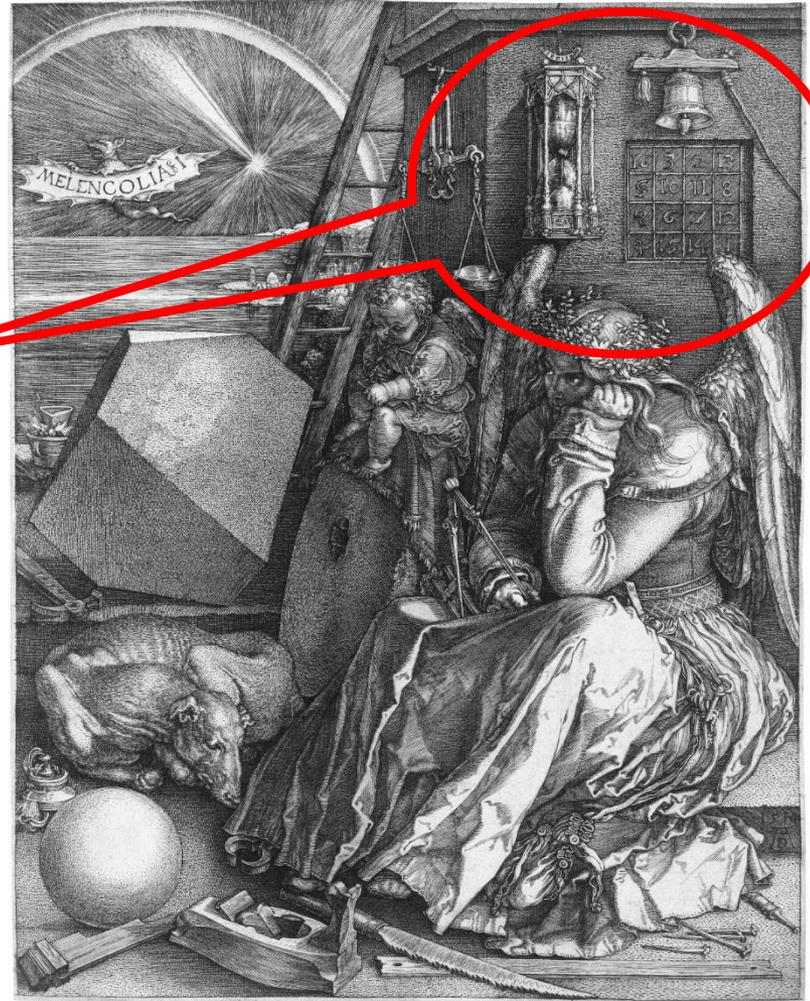


“ The mystic tablet “

15世紀 西洋



魔方陣



独: Melencolia I (1514)
作: Albrecht Durer

魔方陣の歴史（日本）

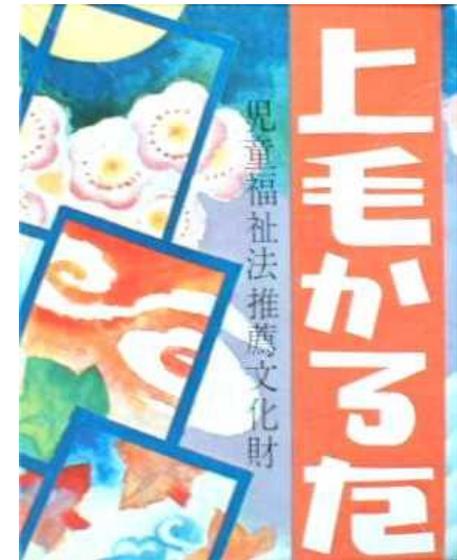
上毛かるた

「和算の大家 関孝和」

関 孝和

日本数学史上最高の英雄人物

- 江戸時代の数学者
- 群馬県藤岡市出身
- 円周率の近似値，
行列の概念を確立
- 魔方陣の研究「方陣之法」



魔方陣の歴史 (日本)

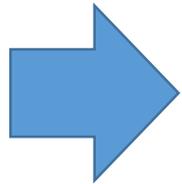
関孝和が考案した6次方陣

和が37となる2数を線で結ぶと模様が出現



4	3	35	36	28	5
6	14	19	15	26	31
30	24	17	21	12	7
29	25	16	20	13	8
10	11	22	18	23	27
32	34	2	1	9	33

和が37となる2数を線で結ぶと美しい模様が出現



37の連結線

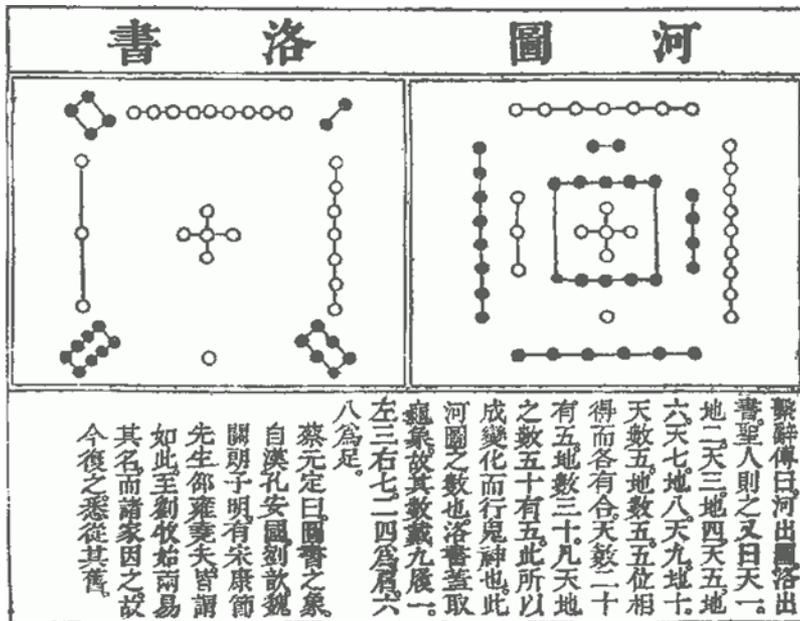
魔方陣の奥深さを感じれる作品

4	3	35	36	28	5
6	14	19	15	26	31
30	24	17	21	12	7
29	25	16	20	13	8
10	11	22	18	23	27
32	34	2	1	9	33

Magic Square – 魔方陣 -

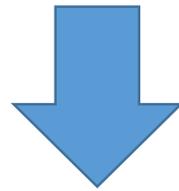
「人類最初の数論問題」

不思議な魔術ではなく、数の神秘が宿る



Magic Square – 魔方陣 -

「人類最初の数論問題」を工学へ応用
数の神秘の力より、イノベーション



魔方陣の「多様性」, 「調和」, 「奥深さ」, 「美しさ」

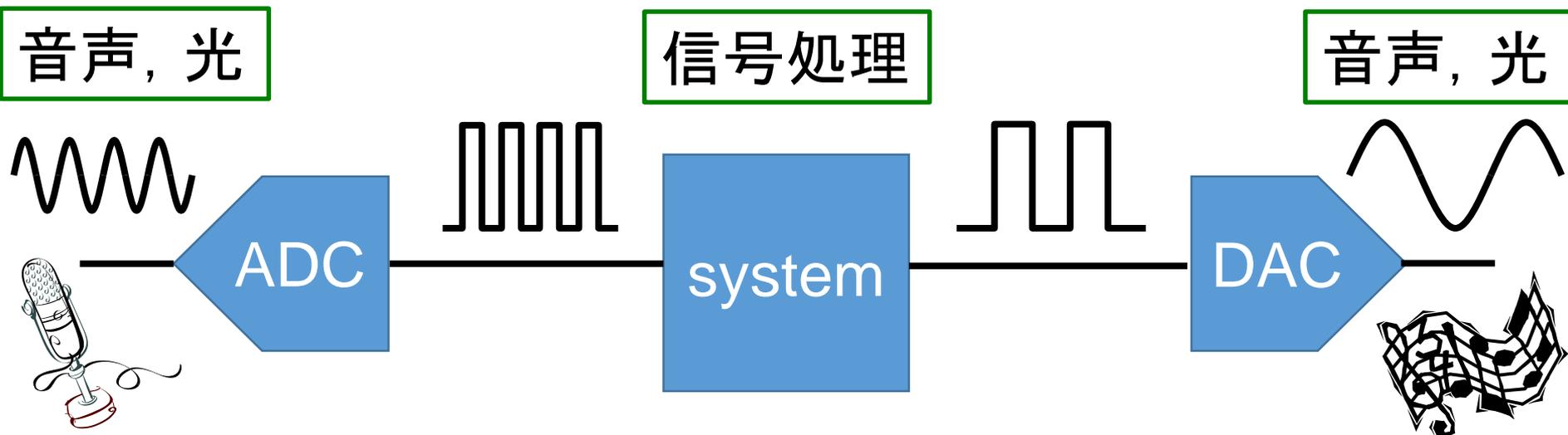
魔方陣レイアウト技術による
DA変換器の線形性向上

AD/DA変換器の重要性

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



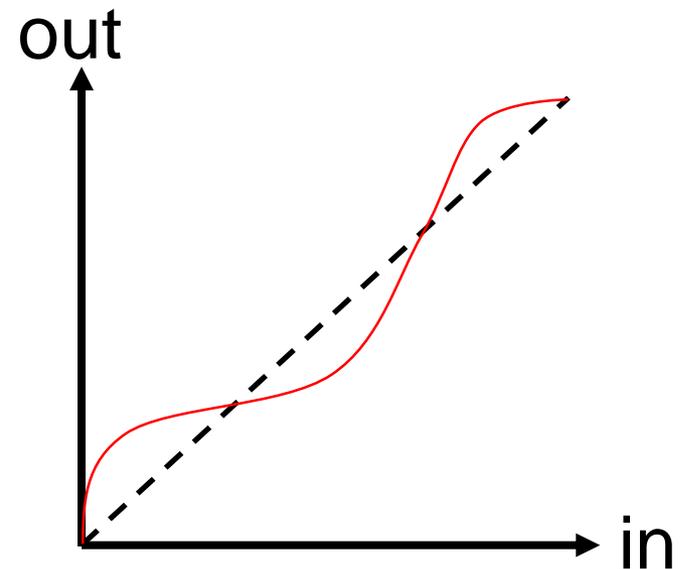
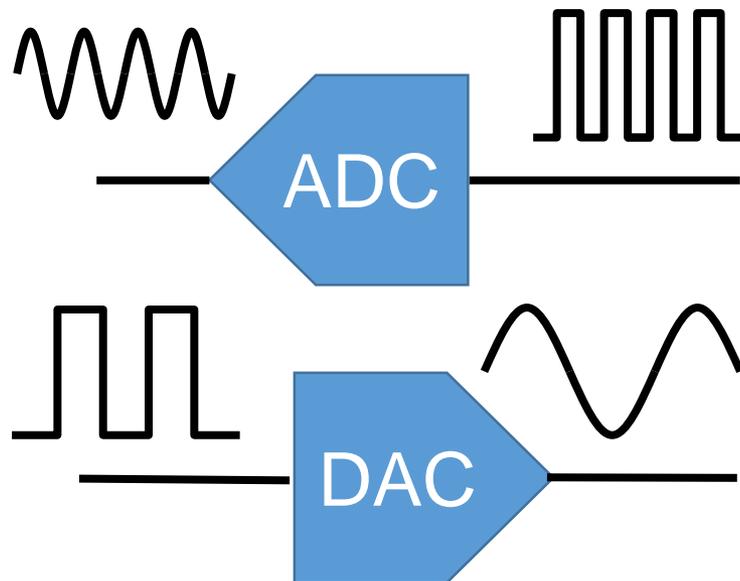
→ 高性能なAD及びDA変換器が求められている

素子ばらつきによる非線形性

- ✓ 半導体素子を構成しているシリコンウェハ上では、ばらつきが存在

ex) MOSFET特性, 抵抗, 容量

{ 素子のミスマッチ
入出力信号の線形性劣化



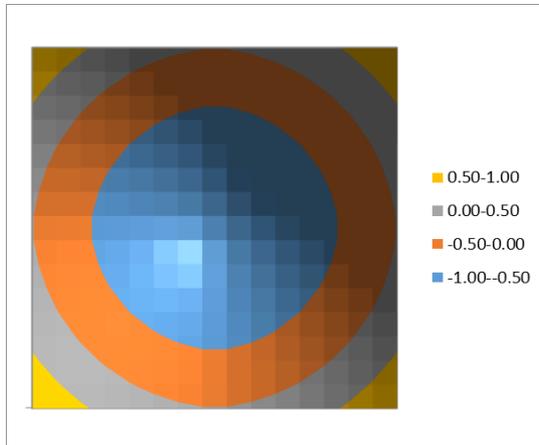
二種類の素子ばらつき

◆ ばらつきの種類

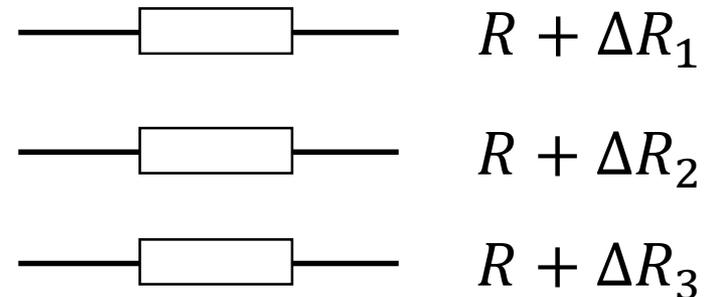
- ✓ システマティックなばらつき
- ✓ ランダムなばらつき

ex. ウェハ上で、

- システマティックな傾斜をもってばらつく
- 素子ごとにランダムにばらつく



システマティック



ランダム

システムテックばらつき

◆ ばらつきの種類

- ✓ システムティックなばらつき
- ✓ ランダムなばらつき

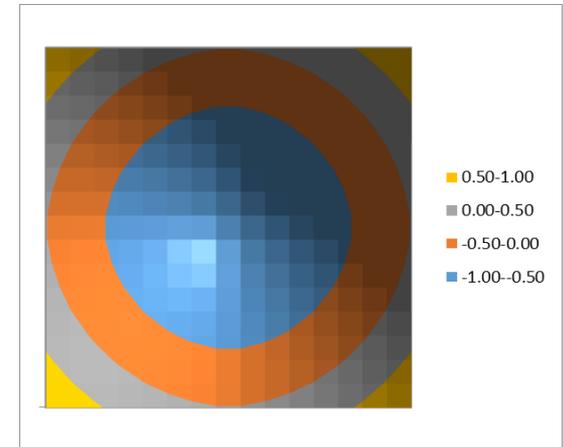
◆ システムティックなばらつき

- ✓ 電圧降下
- ✓ 酸化膜の厚さ
- ✓ ドーピング
- ✓ 機械的ストレス
- ✓ 温度分布
- ✓ ウエハ面内

レイアウトで改善

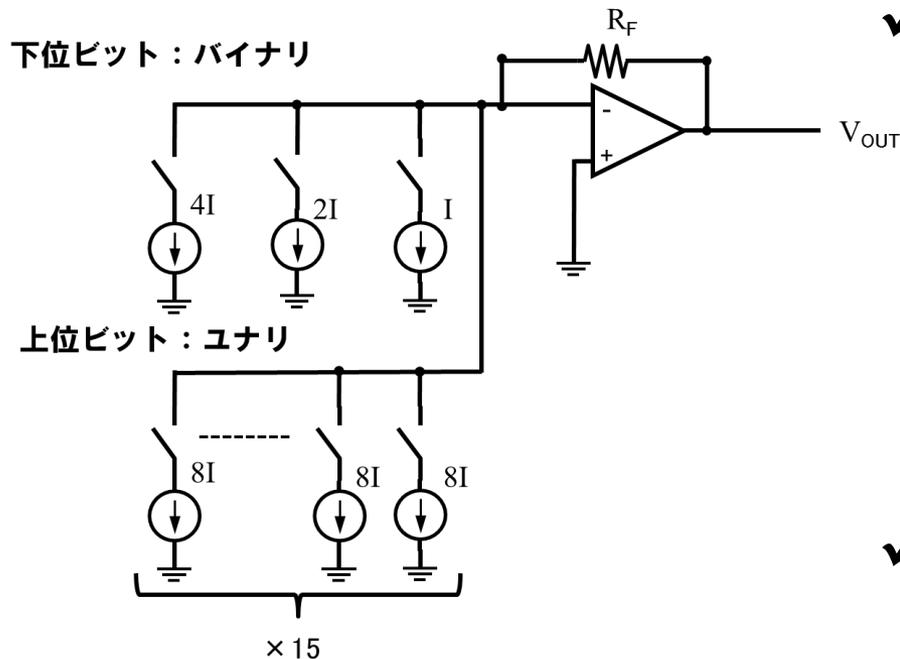
- 従来方法

Random Walk, 配置



DA変換器の構成

◆ DA変換器の構成



セグメント型DA変換器

✓ バイナリ型

- 小型化可能
- コードの切り替えでグリッチ発生
- ミスマッチの発生：大

✓ ユナリ型

- 小型化不可
- ミスマッチの影響：少
- グリッチの発生：少

DA変換器の動作

◆ DA変換器の構成

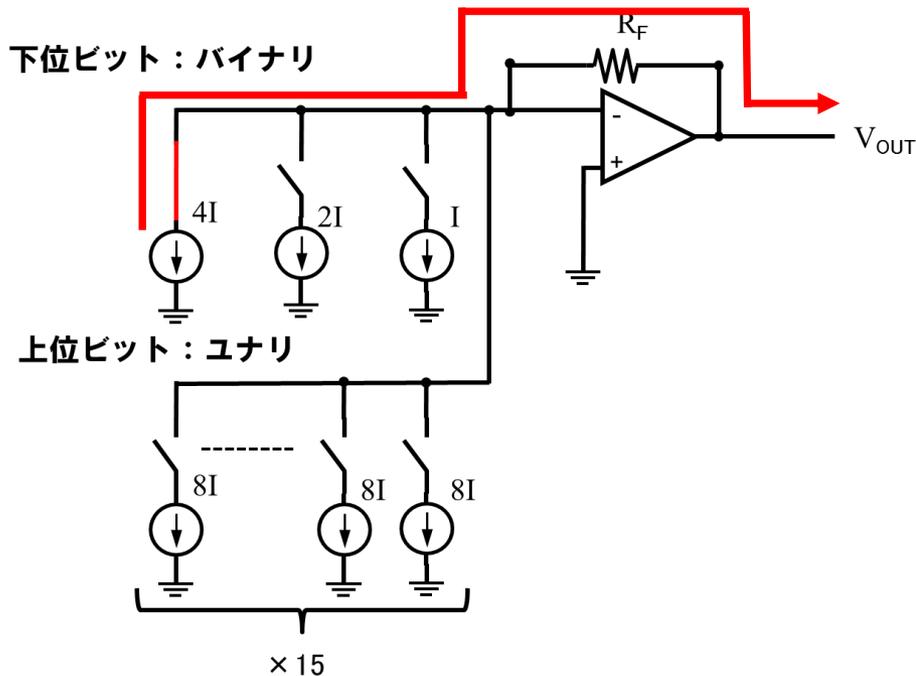
✓ 7bit DA変換器

ex.1

(0000100)



$$V_{out} = 4IR_F$$

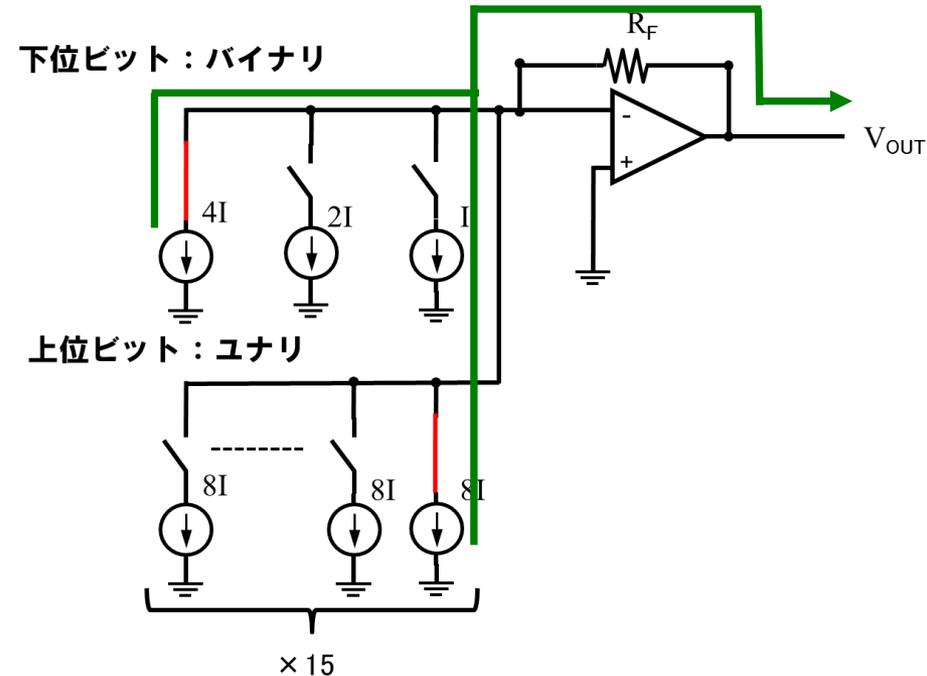


ex.2

(0001100)



$$V_{out} = 12IR_F$$



電流セル配列のレイアウト

◆ DA変換器の構成

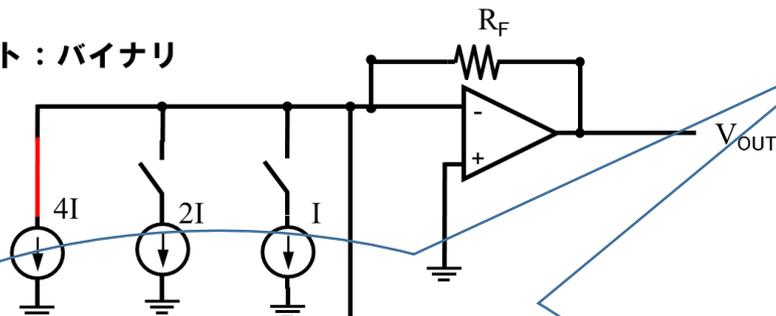
✓ 7bit DA変換器

(0001100)

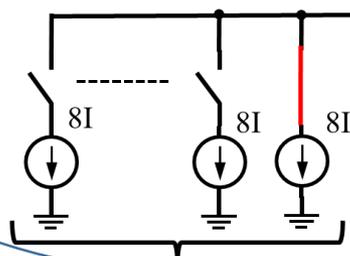


$$V_{out} = 12IR_F$$

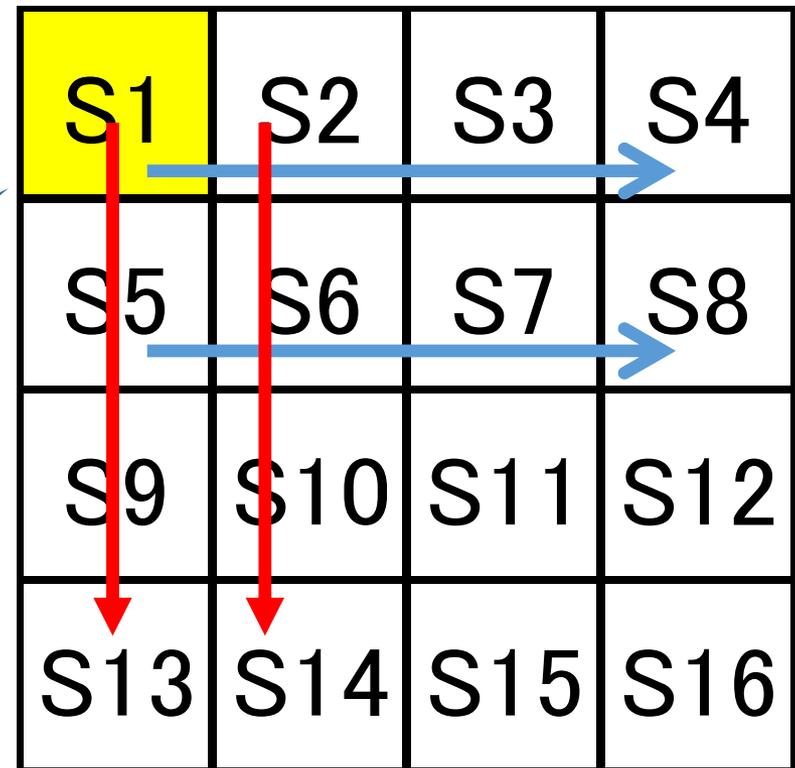
下位ビット：バイナリ



上位ビット：ユナリ



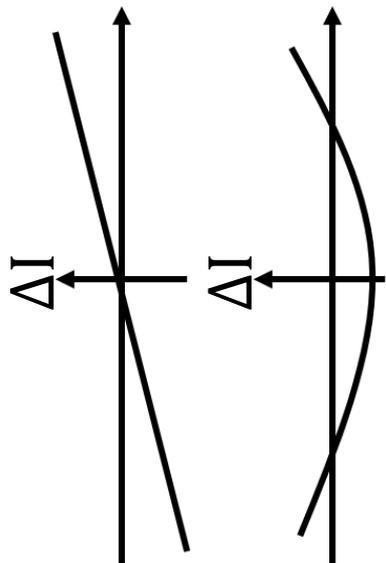
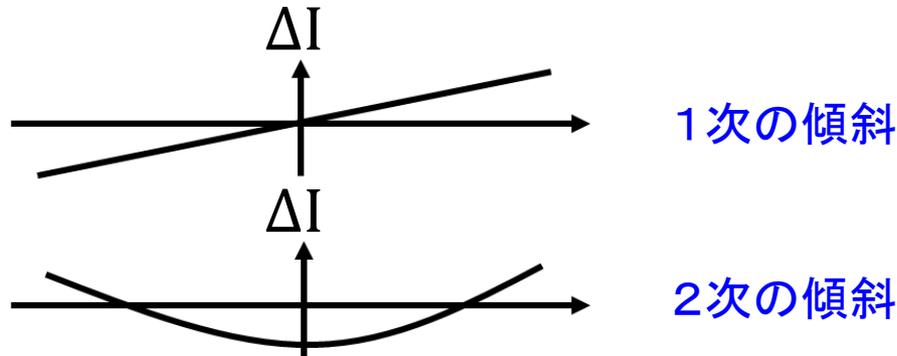
× 15



単位電流セル(ユナリ型)

電流源配列のミスマッチ傾斜

◆ DA変換器 - システムティック・ミスマッチとレイアウト

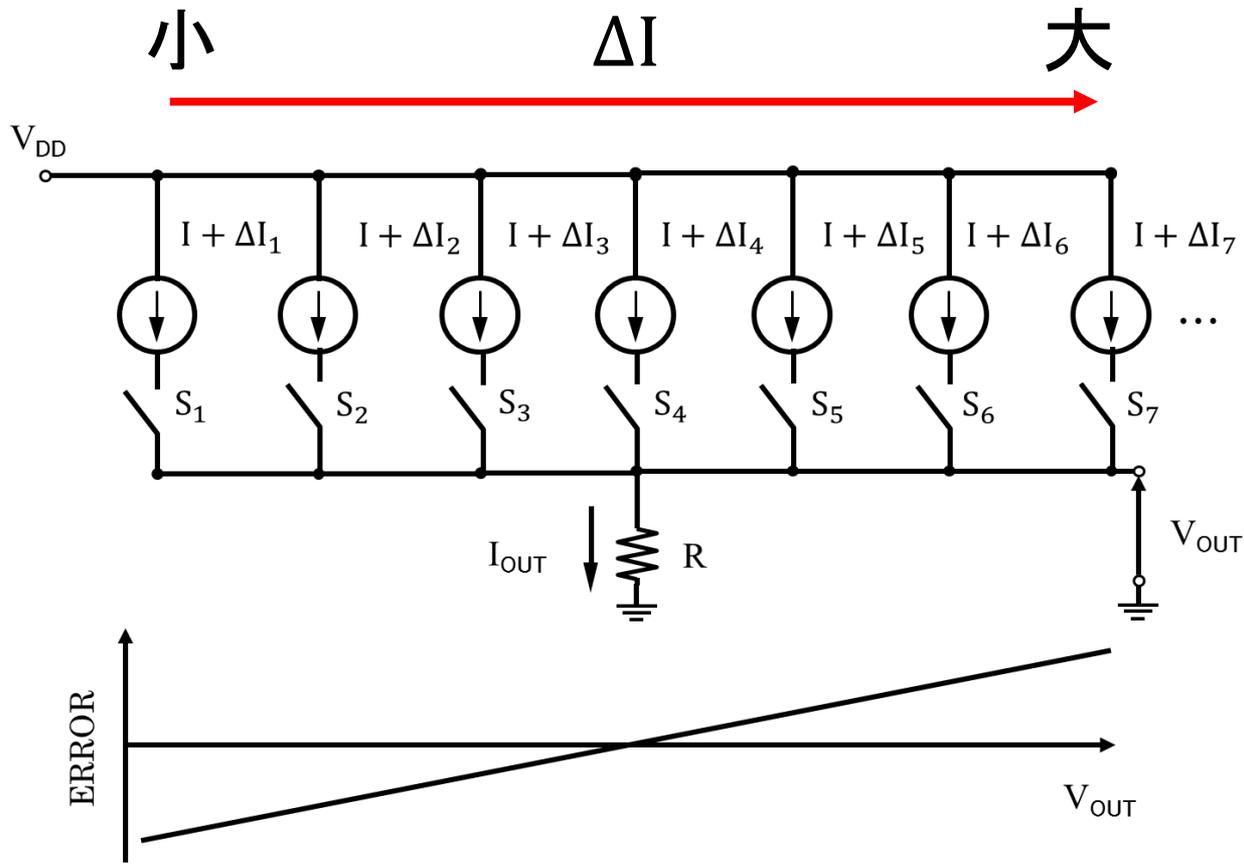


S1	S2	S3	S4
S5	S6	S7	S8
S9	S10	S11	S12
S13	S14	S15	S16

ミスマッチの傾斜がそのまま出力信号へ

電流セル配列とDAC非線形性

◆ DA変換器 - システムティック・ミスマッチとレイアウト

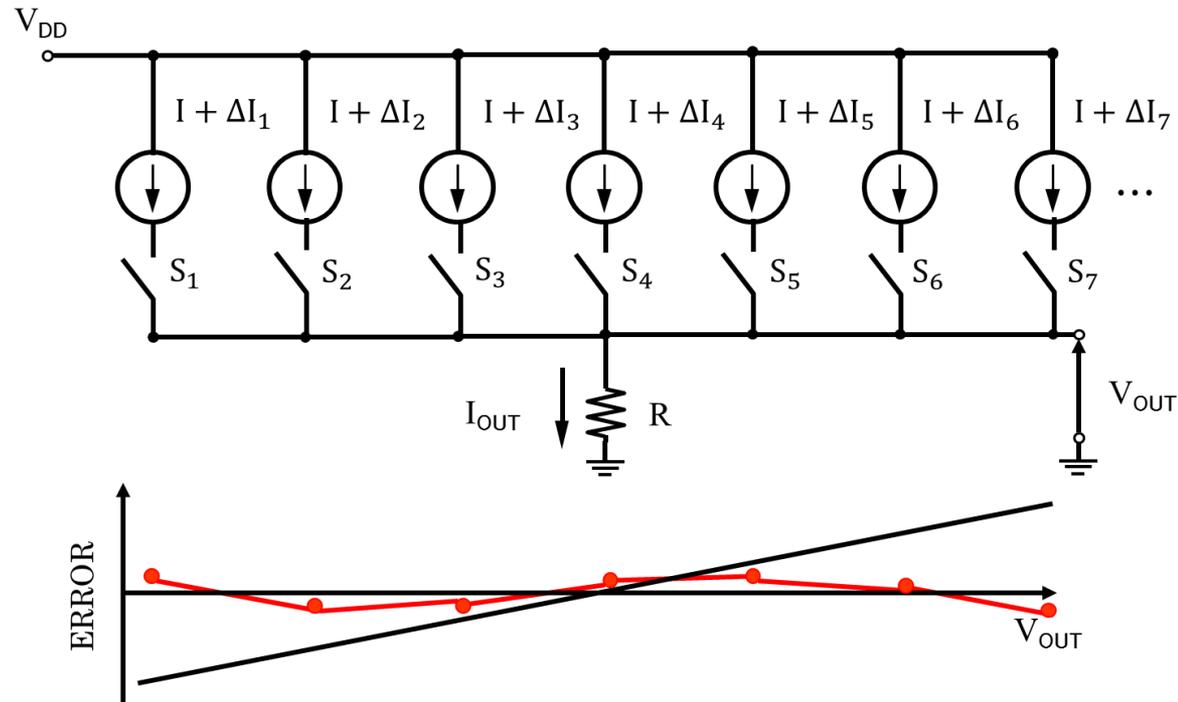


電流源のミスマッチにより入出力信号の線形性劣化が問題

電流セル配列レイアウトとDAC線形性向上

◆ DA変換器 - システムティック・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

→ Random Walk

魔方陣による電流セル配列レイアウト

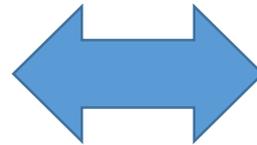
考案

魔方陣によるレイアウト

定和性の一致

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

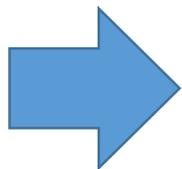
魔方陣



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

単位電流セル(ユナリ型)

魔方陣の「多様性」, 「調和」, 「奥深さ」, 「美しさ」



DA変換器への応用

各魔方陣のシミュレーション方法・結果(1)

✓ システムティックなばらつき

- Linear Error

$$\varepsilon_l(x, y) = g_l * \cos \theta * x + g_l * \sin \theta * y$$

θ : 傾きの角度, g_l : 傾きの大きさ

- Quadratic Error

$$\varepsilon_q(x, y) = g_q * (x^2 + y^2) - a_0$$

g_q : 変化量, a_0 : 位置

各魔方陣のシミュレーション方法・結果(2)

◆ 同心魔方陣

8次方陣を4つ組み合わせて8bitの単位電流源セルを表現

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

A1	B1
B2	A2

A:左図の魔方陣
B:45° 左回転

各魔方陣のシミュレーション方法・結果(3)

◆ 同心魔方陣

- アルゴリズム

A1	B1
B2	A2

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

各魔方陣のシミュレーション方法・結果(4)

◆ 同心魔方陣

- アルゴリズム

A1	B1
B2	A2

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

各魔方陣のシミュレーション方法・結果(5)

◆ 同心魔方陣

- アルゴリズム

A1	B1
B2	A2

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

各魔方陣のシミュレーション方法・結果(6)

◆ 同心魔方陣

- アルゴリズム

A1	B1
B2	A2

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

各魔方陣のシミュレーション方法・結果(8)

◆ 同心魔方陣

- アルゴリズム

A1	B1
B2	A2

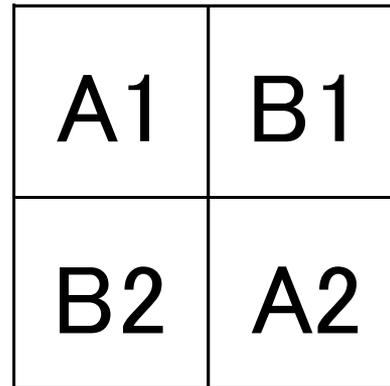
59	5	4	62	63	1	8	58	58	56	10	11	53	52	14	6
9	18	17	49	50	42	19	56	8	19	45	21	22	41	47	57
55	20	28	33	29	40	45	10	1	42	40	26	27	37	23	64
54	44	38	31	35	26	21	11	63	50	29	35	34	32	15	2
12	43	39	30	34	27	22	53	62	49	33	31	30	36	16	3
13	24	25	36	32	37	41	52	4	17	28	38	39	25	48	61
51	46	48	16	15	23	47	14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

各魔方陣のシミュレーション方法・結果(9)

◆ 同心魔方陣

• アルゴリズム

1. A1の1
2. A2の1
3. B1の1
4. B2の1
5. A1の2
- ⋮
255. B1の256
256. B2の256



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

中央と隅を取りつつ、擬似ランダムなスイッチングを再現

各魔方陣のシミュレーション方法・結果(10)

◆ 同心魔方陣

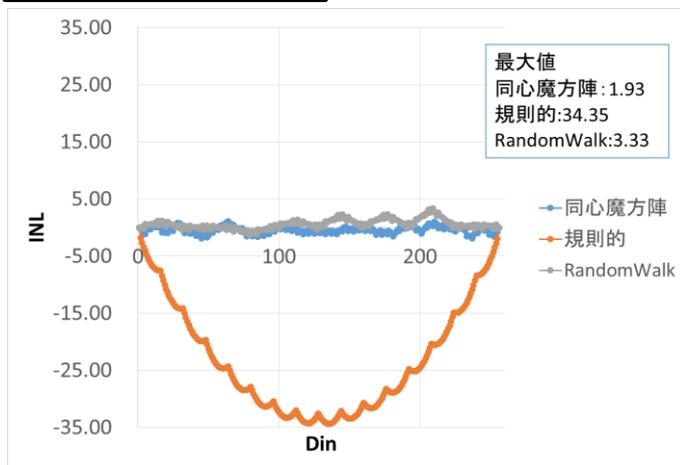
✓ Linear Error

$$\varepsilon_l(x, y) = g_l * \cos \theta * x + g_l * \sin \theta * y$$

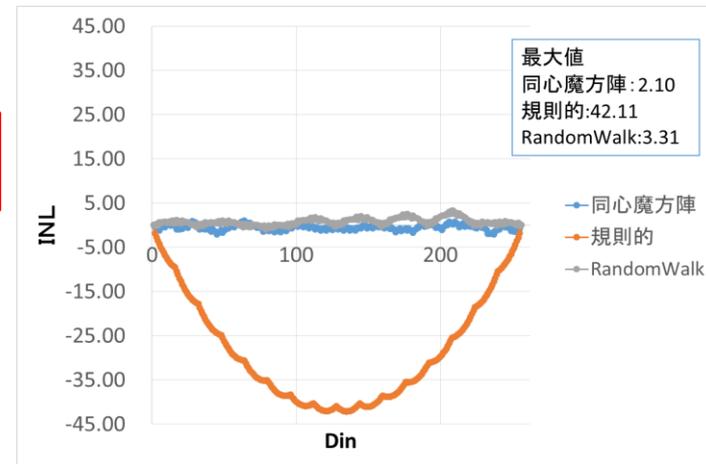
$$\theta = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$$

$$g_l = 1$$

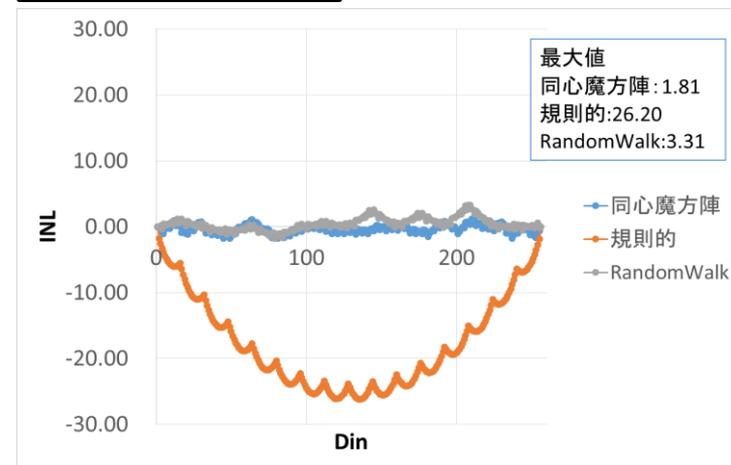
• $\theta = 45^\circ$



• $\theta = 30^\circ$



• $\theta = 60^\circ$

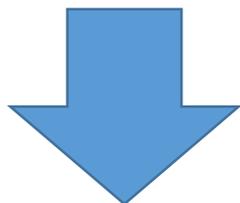


各魔方陣のシミュレーション方法・結果(11)

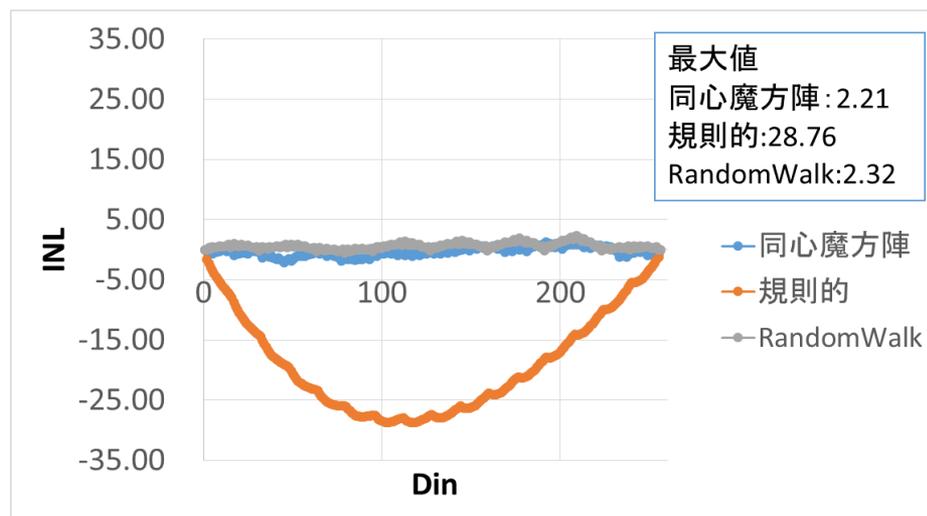
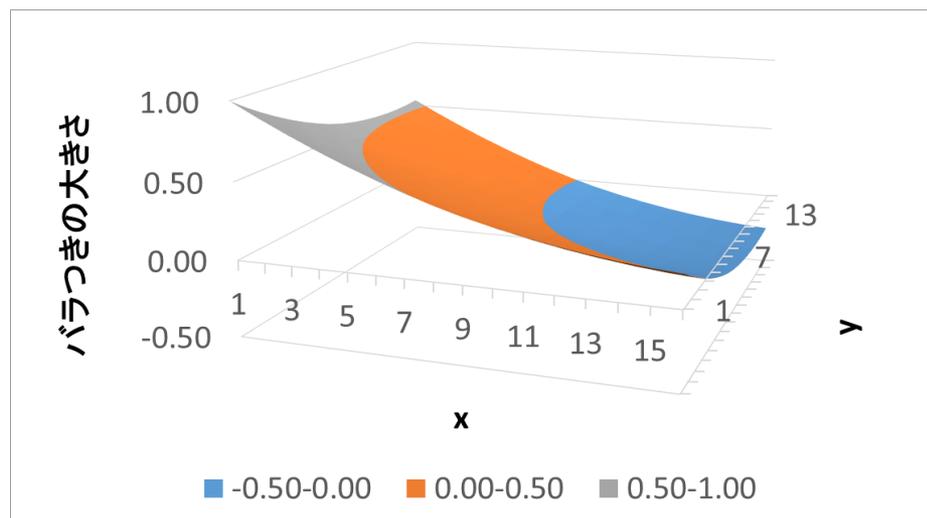
◆ 同心魔方陣

✓ Joint Error

一次 > 二次 の場合

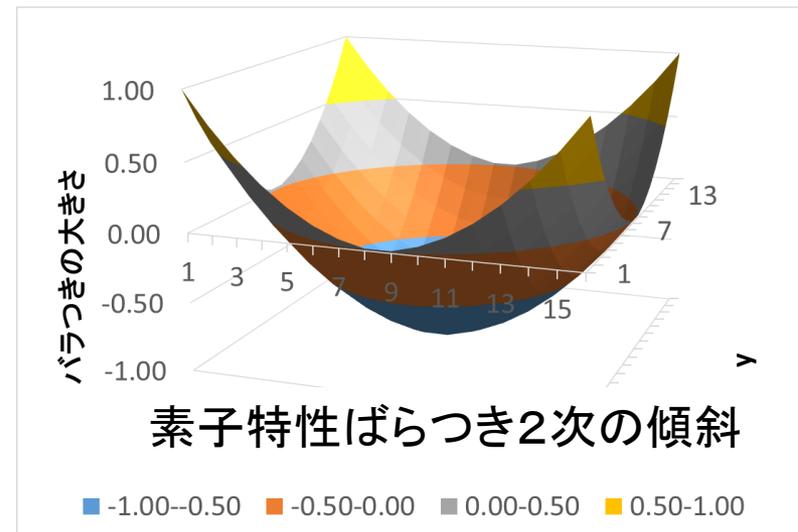
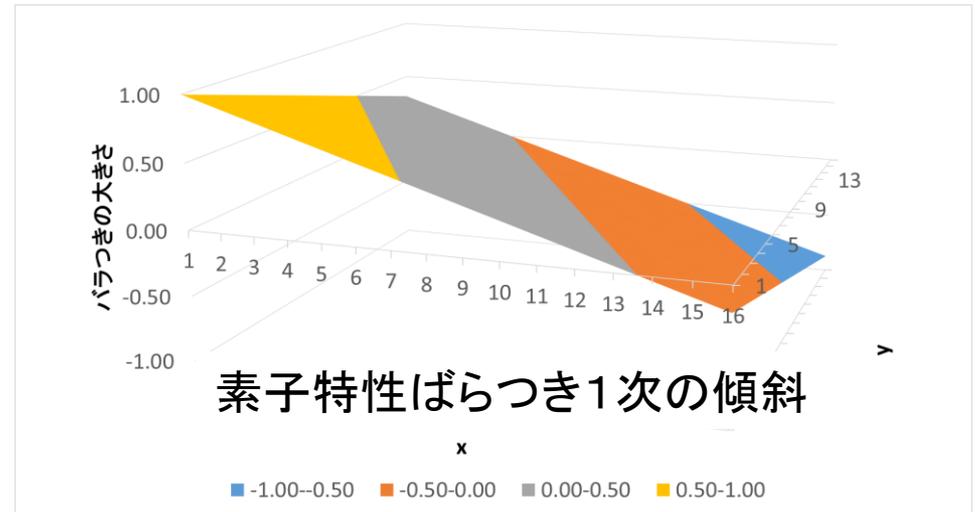


魔方陣の方が適している



魔方陣DA変換器レイアウト まとめ

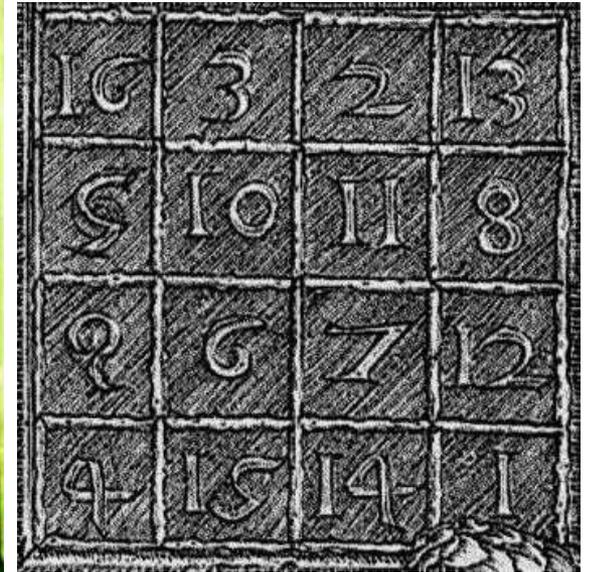
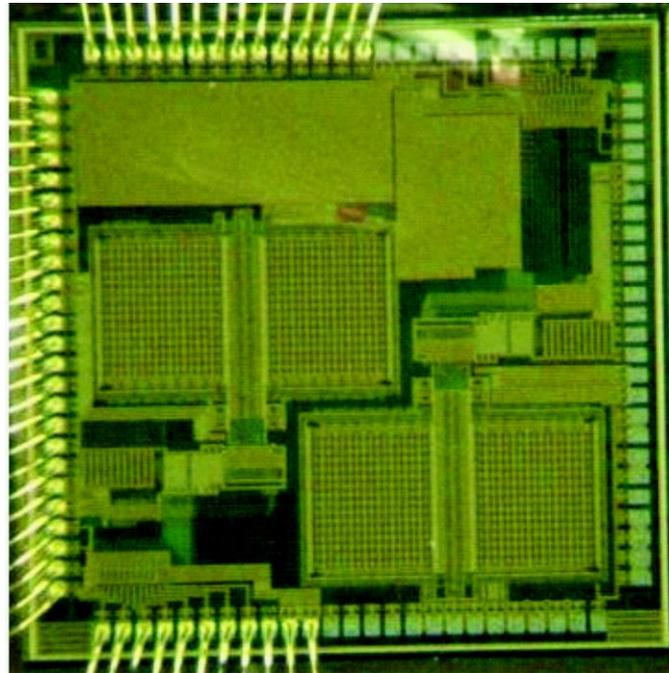
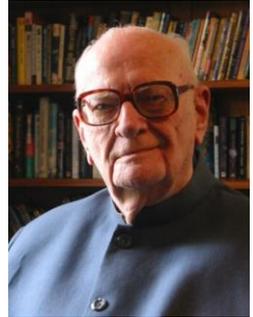
- 魔方陣レイアウトは素子ばらつき1次の傾斜キャンセルにより有効
- 他の2次元技術(画像技術等)にも展開



まとめ

Any sufficiently advanced technology is indistinguishable from **magic**.

(科学小説作家 Arthur C. Clarke の第3法則)



Magic (手品) と Magic Square (魔方陣) をかけています

- $n \times n$ array filled with n different symbols
- Each symbols occurring exactly once in each row and column



Example:

A	B	C
C	A	B
B	C	A

3×3 Latin square

1	2	3	4
3	4	1	2
4	3	2	1
2	1	4	3

4×4 Latin square

Leonhard Euler(1707-1783)
Swiss mathematician, physicist

レオンハルト・オイラー

Leonhard Euler 1707-1783



スイス生まれの数学者・物理学者、天文学者。
ロシアのサンクト・ペテルブルクや
ドイツのベルリンで活躍。

18 世紀最高の数学者。

ガリレオ・ガリレイ、アイザック・ニュートン、
アルベルト・アインシュタインとも比較される。

物理学者ファインマン： オイラーの公式を
「宝石」かつ「数学においてもっとも特筆すべき公式」と評価。

オイラーを読め、オイラーを読め、オイラーは我々すべての師だ！
(ラプラス)

オイラーの公式

- オイラーの公式

$$\exp(j\theta) = \cos(\theta) + j\sin(\theta) \quad \textcircled{1}$$

$$\exp(-j\theta) = \cos(\theta) - j\sin(\theta) \quad \textcircled{2}$$

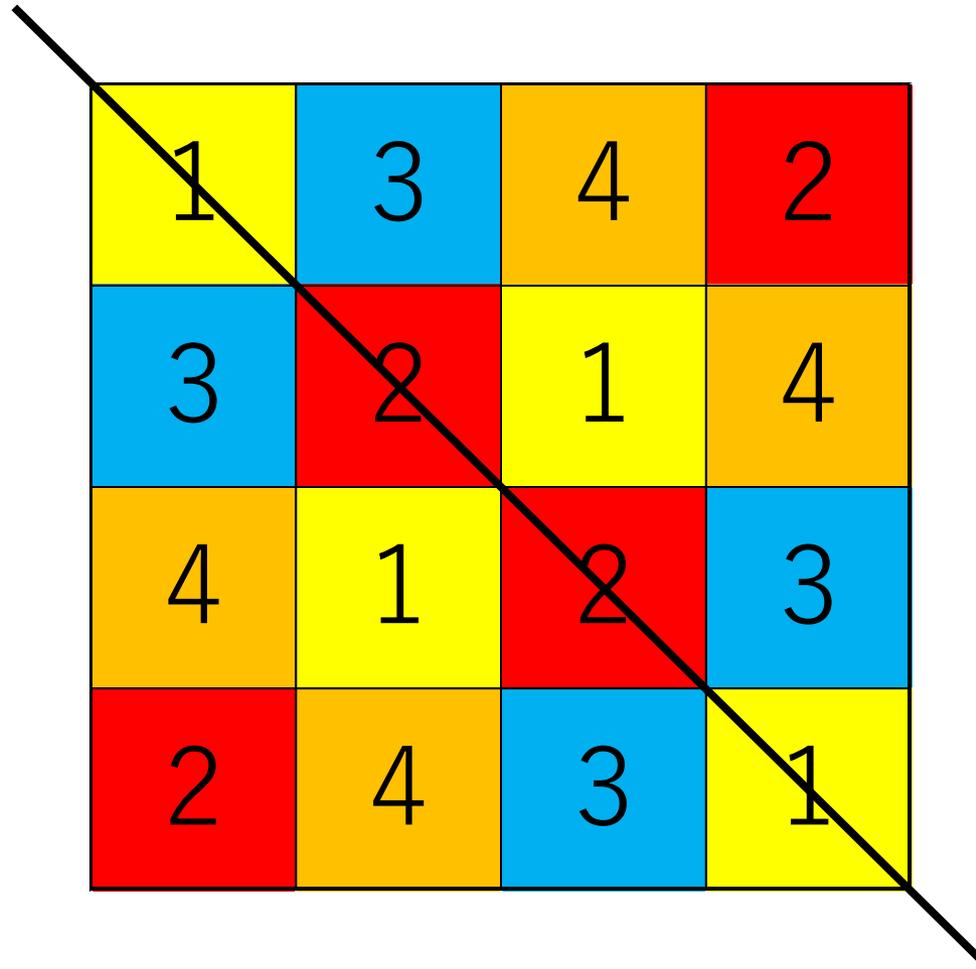
- 「数学で最も美しい公式」

$$\exp(j\pi) = -1$$

オイラーの公式①で $\theta = \pi$ の場合

小川洋子 「博士の愛した公式」 日本的小説

Common Centroid Layout



左右対称のレイアウト(重心を一致させる)

Latin Square layout

(1) 1,1	1,2	1,3	1,4
2,1	2,2	(3) 2,3	2,4
3,1	3,2	3,3	(4) 3,4
4,1	(2) 4,2	4,3	4,4

1	2	3	4
3	4	1	2
4	3	2	1
2	1	4	3

Latin Square layout

1,1	(2) 1,2	1,3	1,4
2,1	2,2	2,3	(4) 2,4
3,1	3,2	3,3	3,4
(1) 4,1	4,2	4,3	4,4

A 4x4 grid with colored cells and arrows. Red numbers (1) through (4) are placed near specific cells. Arrows connect (1) to (2), (2) to (3), and (3) to (4).

1	2	3	4
3	4	1	2
4	3	2	1
2	1	4	3

Latin Square layout

1,1	1,2	1,3	1,4
2,1	2,2	2,3	2,4
3,1	3,2	3,3	3,4
4,1	4,2	4,3	4,4

1	2	3	4
3	4	1	2
4	3	2	1
2	1	4	3

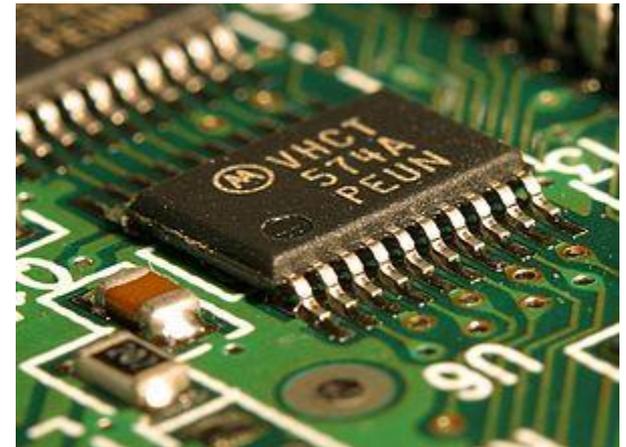
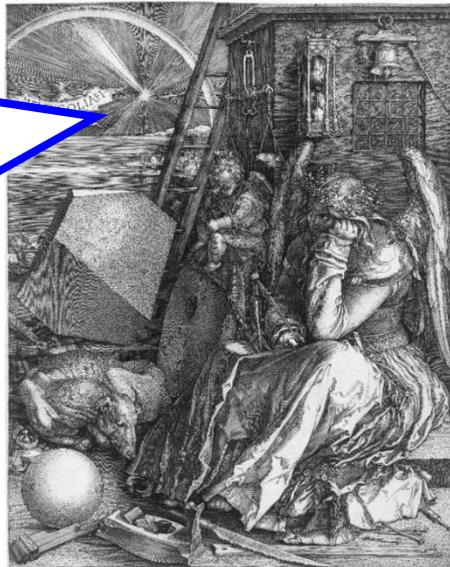
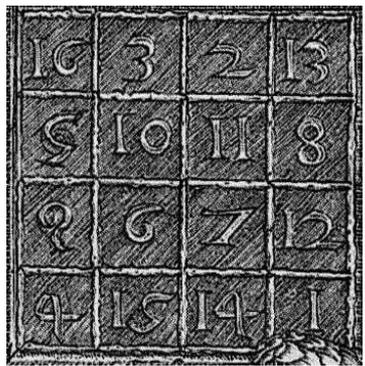


Latin Square も重心が一致してる
(他の配列も同様)

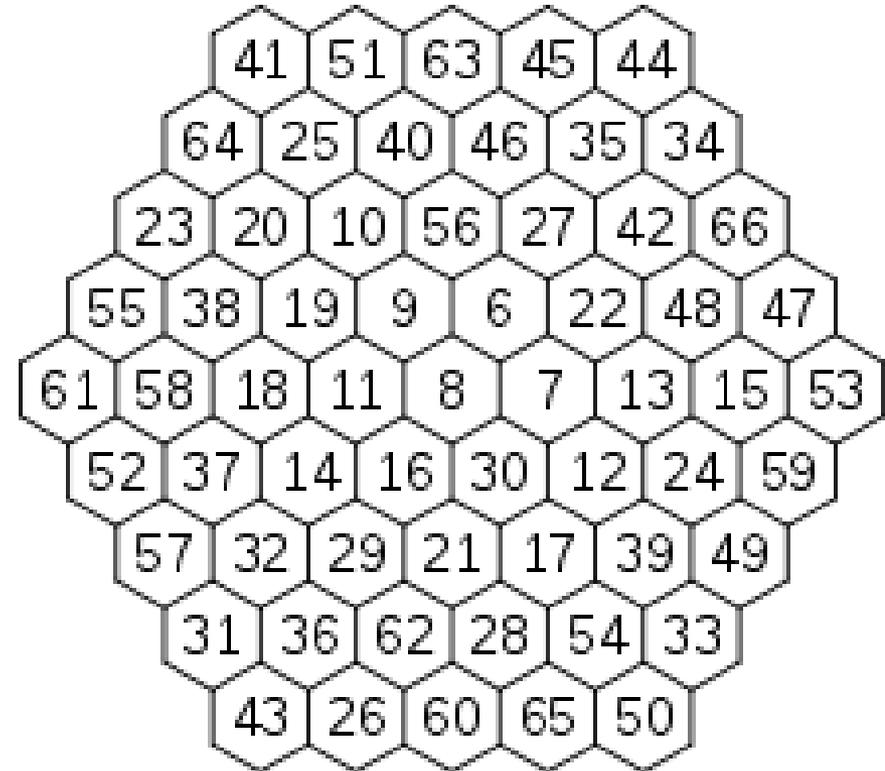
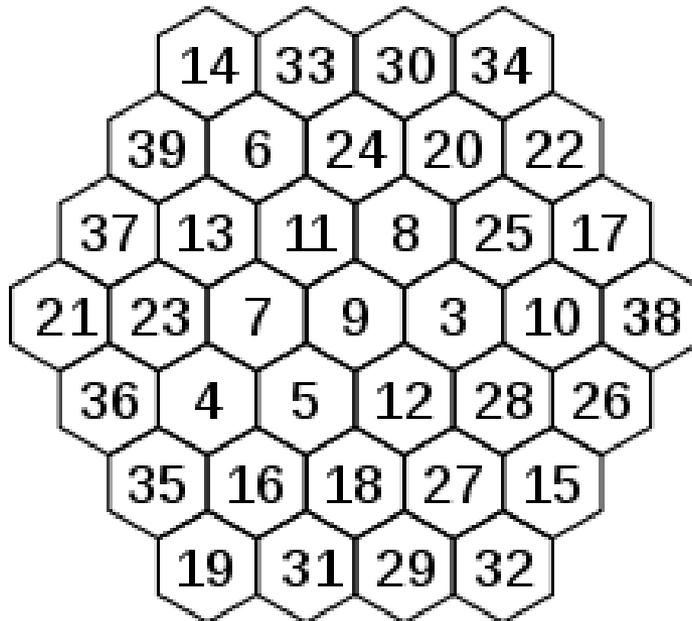
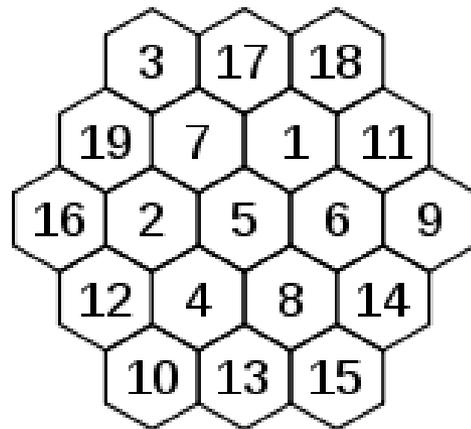
Final Statement

温故知新

Classical mathematics can contribute modern technology.



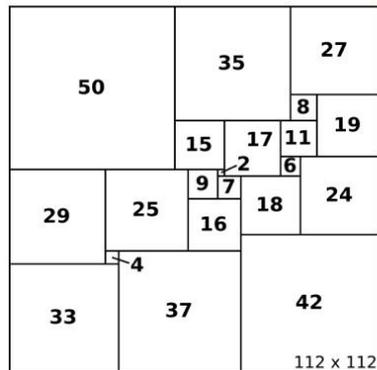
様々な魔方陣(続き 3) 魔六陣



正方形分割方陣

阿部楽方「正方形分割224魔方陣」(1991年)

正方形分割正方形

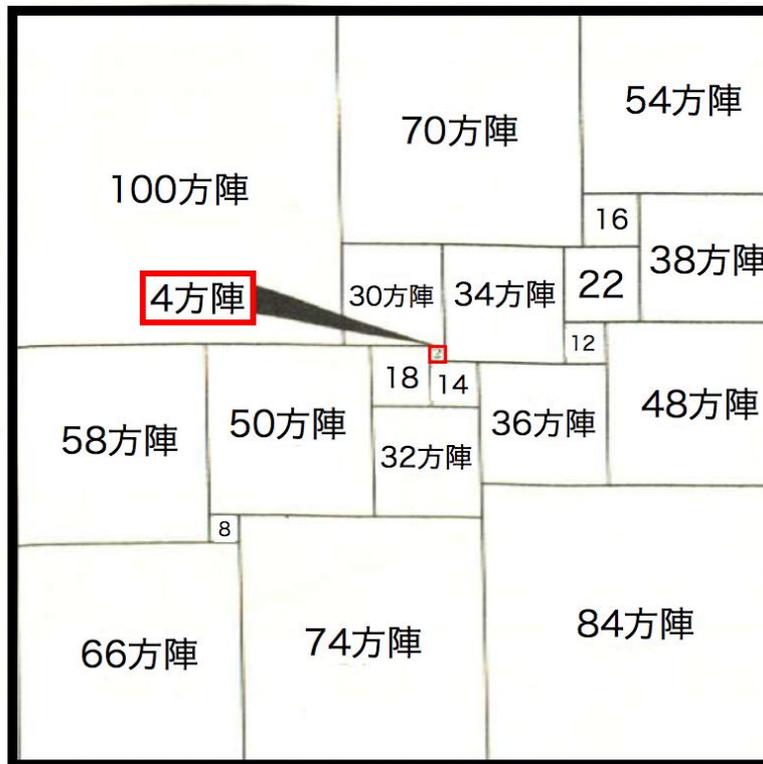


デュイベスチジン

1978年

最小解

21個の1辺112



最小の正方形部分 (4方陣)

40388	40387	40386	40385	40418	10271
15186	15347	15354	34824	34829	10272
34987	34826	34827	15349	15352	10273
15191	15353	15348	34830	34823	10274
34960	34828	34825	15351	15350	39967
34983	15355	15363	34818	34819	34820

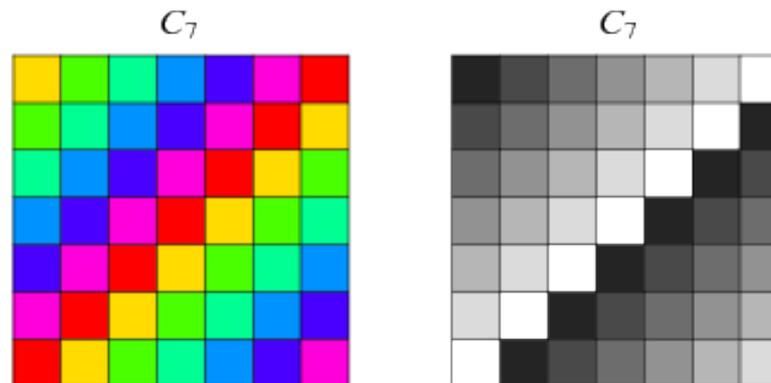
$$\begin{aligned}
 &15347+15354+34824+34829 \\
 &=34826+34827+15349+15352 \\
 &=15353+15348+34830+34823 \\
 &=34828+34825+15351+15350 \\
 &=100354
 \end{aligned}$$

全体が224方陣 1から50176 (=224×224) までの数字 定和 5619824

<http://ssfactory.sblo.jp/article/176431760.html>

ラテン方阵の他分野との関連

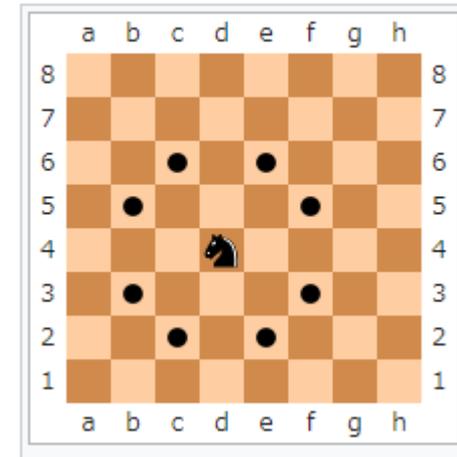
- ラテン方阵は
田口メソッドの直交表にも関係あるようだ。
- 巡回群
フェルマー最終定理証明にも関係しているようだ。



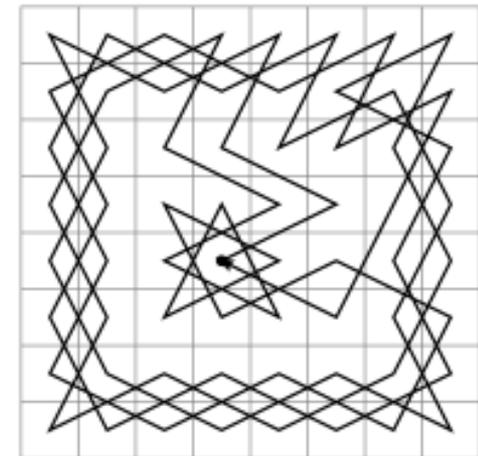
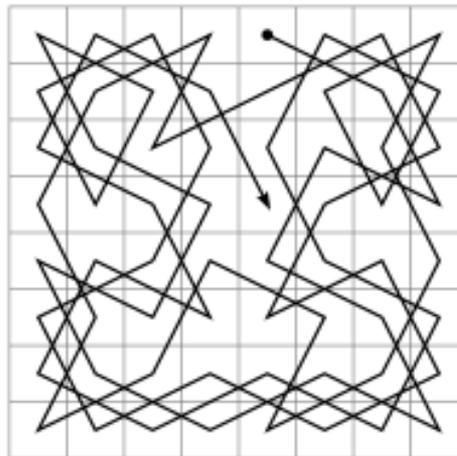
ナイト・ツアー (Knight Tour)

チェスを使った数学的パズルの一種。
 「騎士の巡歴(じゅんれき)」「桂馬拾い」
 チェスボード上のナイトを移動させ、
 64マス全てを一回ずつ通過

ナイトの基本的な動き



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



オイラーのナイトツアー
 魔方陣にもなっている

レポート課題

この講義の内容に関係したことを調べ
その内容について A4レポート用紙2枚程度に
まとめよ。

できるだけ手書きでなくコンピュータを用いよ。

提出： 12月13日(金)の講義開始時

国際学会発表スライド 注意事項

浅見幸司 客員教授の指摘

群馬大学
小林研究室



◎ ○ △ × は通じない

● 下記は海外の人には通じない

- ◎ (非常に良いの意)
- (良い)
- △ (まあまあ)
- × (ダメ)

● 下記等を使う

Excellent

Good

Fair

Bad

色の名前の呼び方



学会発表では
ピンク(Pink)ではなく
マジェンタ(Magenta) の語を使用

Magenta 深紅色

イタリア共和国ロンバルディア州ミラノ県にある、人口約2万4000人の基礎自治体。
ミラノから西へ約25kmに位置。
第二次イタリア独立戦争中 1859年に 当地でマジェンタの戦い。
「Magenta」という染料とその色の名はこの地名に由来。

発表後のQ&Aでは Conclusionのスライドを表示

プレゼンの最後

Thank you for listening

Golden Ratio



26

Thank you for your attention

思而不学則殆 学而不思则殆

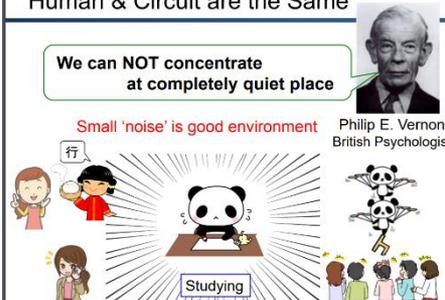


Human & Circuit are the Same ^{23/22}

We can NOT concentrate at completely quiet place

Small 'noise' is good environment

Philip E. Vernon
British Psychologist



Q & A

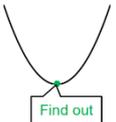
Conclusion ^{40/41}

New Theorem

Equivalency

Find out

- SAR ADC using golden section search
- Fibonacci sequence weighted SAR ADC



Conclusion ²⁵

- Proposal of four-phase DC-DC converter with constant-on-time control
- Good current balance, Large load current
- Low output voltage ripple, Fast response
- Four-phase converter shew better phase margin, higher operating frequency
- EMI reduction is achieved by pulse phase modulation, the four-phase PWMs

Conclusion ^{22/22}

< $\Delta\Sigma$ DA modulator >

Conventional: Limit cycle problem for small input

Proposed: Using digital dither

- Limit cycle reduction \Rightarrow Relax LFP requirement
- SFDR improvement by 10 dB
- Linear DC
- 1-bit DAC following a modulator thanks to XOR
- FPGA implementation