

2021年7月20日(火)



集積回路システム工学 第14回講義

計測工学研究 三題

ノイズの問題

小林春夫

群馬大学大学院理工学府 電子情報部門

koba@gunma-u.ac.jp

下記から講義使用 pdfファイルをダウンロードしてください。

出席・講義感想もここから入力してください。

<https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/lecture/lecture.html>₁



ITC-Asia 2018
 IEEE International Test Conference in Asia
 15-17 August 2018 • Harbin, China

第 2 回 半導体集積回路試験技術に関するアジア国際会議

(International Test Conference in Asia : ITC Asia) 見聞録

- 東方のバリ 中国 黒竜江省 哈爾濱市 訪問 -

群馬大学 小林春夫

● ITC Asia 2018

<http://www.carch.ac.cn/ITC-Asia-2018/index.html>

LSI テスト関係のアジア地区での国際会議, ITC Asia に昨年に引き続き参加した。
 大学・産業界の両方が良くバランスした国際会議のように思う。

下記の 2 つの会議と共催

1. CTC (China Test Conference) 2018

中国のコンピュータ関係の国内学会(中国語使用) 300 名程度の参加者

2. IWCR (International Workshop on Cross-layer Resiliency) 2018

小野寺秀俊先生(京都大学)等が主宰するワークショップ



● 昨年度の台湾での第 1 回 ITC Asia

報告書を下記に示す

<http://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2017/20170925am12HP.pdf>

http://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2017/ITC-Asia_rev2-1.pdf

<http://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2017/ITC-asia-report-yanagita.pdf>

<https://tech.nikkeibp.co.jp/dm/atcl/news/16/092709328/>



● 哈爾濱(ハルビン)市

中国 黒竜江省の省都。松花江中流の南岸に位置する都市。

19世紀末にロシア人が建設し、鉄道交通の要地として発展。機械工業が発達。

ハルビン市は黒竜江省人民政府の所在地であり、黒竜江省の政治・経済の中心である。
2015年時点での市区人口は約590万人の大都市である。

市域全体の人口は約960万人。日本語ではハルピン市とも呼ばれる。

(インターネットより)

● 中国 東北地区の歴史 (キーワードのみを示す)

日露戦争, 奉天の戦い, シベリア出兵, 清朝 ヌルハチ, ラストエンペラー 溥儀,
東洋のマタ・ハリ, 伊藤博文 哈爾濱駅で暗殺, 満州事変, ノモンハン事変,
731部隊, 満鉄, 満蒙開拓団, 日中戦争, 関東軍, シベリア鉄道

長春(新京), 瀋陽(奉天), 大連, 丹東, 渤海国, 高句麗

終戦前後からの満州からの引き上げ・シベリア抑留について
中学の担任教師, 高校校長から体験談を断片的に聞く

ノンフィクション

- 流れる星は生きている(藤原てい)

映画

- 宋家の三姉妹
- ラストエンペラー

● 東北地区の遼寧省瀋陽市にある瀋陽化工大学に招待された際の報告書

<http://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/warehouse/visit20110909am8.pdf>

- 海外の国際会議に参加する際には,
事前にその地の歴史, 地理, 文化を調べるようにしている。

それらと合わせ, 参加国際学会での情報をベースに その地の電気電子工学分野等の
現在を理解しようとする。



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

- 学会会場 (Sun Island Garden Hotel, Harbin, China)



- 中国の半導体

国策で半導体に力をいれている。

消費が世界の 50%, 生産は世界の 20%

輸入超過の貿易不均衡を是正するのも理由の一つとのこと。

半導体関係ハイテク中国企業のプレゼンに驚く。

中国からの学術論文の伸びは、電気電子工学分野でもすごい勢いである。



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



- アナログ/ミクストシグナル回路部のテストでの故障検出率
車載 IC でのテストで重要であるが、確立されてない・有効な研究が進んでいない。
適当な故障モデルを仮定してそのテストでどれだけ故障検出ができるかという「演繹的
手法」での研究が多いが、多くの場合に適用できる現実的なものとは思えない。すで
に製造されたチップで不良と分かっているものに対して そのテスト手法で故障がど
れだけ検出できるかという「実験的・経験的・帰納的」なアプローチが糸口になろう。



ITC-Asia 2018 IEEE International Test Conference in Asia 15-17 August 2018 • Harbin, China

● ITC Asia 2018 のプログラム

15-Aug	Morning	8:30-12:00	Tutorial 1: Machine Learning and Its Applications in Test
	Afternoon	14:00-17:30	Tutorial 2: Automotive Reliability & Test Strategies

16-Aug	Morning	8:30-9:00	Opening and Award Session		
		9:00-9:50	Keynote 1: DFT for Automotive Functional Safety		
		9:50-10:20	Coffee Break		
		10:20-11:10	Keynote 2: AI toward Autonomous Testing – To What Extent Can Machine Engage An Analyst?		
		11:10-12:00	Keynote 3: AI and Intelligent IC Design/Manufacturing		
		12:00-13:30	Lunch / Steering Committee Meeting		
Afternoon	13:30-14:45	Session 1A – ATPG	Session 1B – Reliability	Social Session 1C: Automotive Test & Reliability	
	15:00-21:00	Social Event (Manchurian Tiger Park Tour and Acrobatic Show) & Banquet			
17-Aug	Morning	8:30-11:05	2018 International Workshop on Cross-Layer Resiliency (IWCR'18) Opening Session: Joint Keynote 4: Enriching Deep Learning Custom-Specific Architecture (invited by IWCR) Joint Keynote 5: 3D Logistics High Availability Architecture and Best Practices (invited by IWCR) Joint Keynote 6: PHA Risk-Critical Design Methodology for Advanced Technology (invited by IWCR)		
		10:10-10:25	Coffee Break		
		11:05-12:15	Plenary Panel: Machine Learning, & Is it used for Test Community?		
	Afternoon	12:15-13:30	Lunch		
		13:30-14:45	Session 2A - DFX & LBIST	Session 2B - Verification & Validation	Social Session 2C: Design for Secure Ethical and Systems
		14:45-15:05	Coffee Break		
15:05-16:25		Session 3A – Hardware Security	Session 3B - Analog Test	Industry Session 3C: AI Practices in Test & Reliability	
Afternoon	16:25-16:40	Break			
	16:40-18:00	Session 4A - Test Cost & Test Quality	Session 4B - Error Detection & Tolerance	Industry Session 4C: EDA & Industrial Test	

- ITC Asia 2018 は約 230 人の参加. 日本からは 9 名の参加
- レギュラー論文 52 件投稿, 24 件採択 (採択率 46%)
ITC Asia に限らず,
IEEE 主催の国際会議では 採択率は 50%以下が原則のようである.

- 日本からは, 2 件の発表.

下記 九州工大 (梶原誠司先生グループ) から,

[1] Good Die Prediction Modelling from Limited Test Items

Takeru Nishimi, Yasuo Sato, Seiji Kajihara, and Yoshiyuki Nakamura
(Kyushu Institute of technology, Renesas Electronics)

および群馬大(筆者の研究室)からである.



ITC-Asia 2018 IEEE International Test Conference in Asia 15-17 August 2018 • Harbin, China

- ITC Asia 2018 のレジストレーション



- CTC (China Test Conference) 2018 のレジストレーション



- AI の LSI テスト応用の話が目につく。次の表現が洒落ている。

Algorithm and Software

Big Data

Computing Power (Hardware)



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● IWCR 2018 のレジストレーション



● ITC Asia のオープニングセレモニー



- 先進運転支援システム(Advanced Driver Assistance System: ADAS) では
(車載用 IC でも) 最先端微細半導体を使用
 - 多大な計算能力が必要
 - 厳密なテスト, 動作時の診断モニタ, ソフトエラー耐性, 誤り訂正の技術が重要
- 「ムーアの法則はまだまだ継続している」の説明が印象的である。



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● 町田恒介君（群馬大 M1）の ITC Asia 2018 での発表



[2] Tomonori Yanagida, Shohei Shibuya, Kosuke Machida, Koji Asami and Haruo Kobayashi,
(Gunma University)

"Low-Distortion One-Tone and Two-Tone Signal Generation Using AWG over Full Nyquist Region"

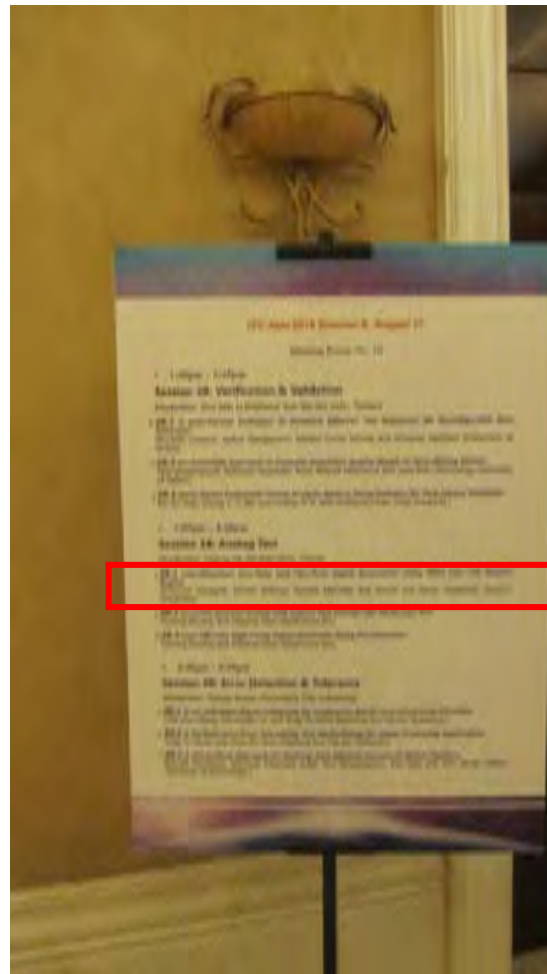
<http://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2018/2018-7-ITC-asia.pdf>

<http://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2018/2018-7-ITC-asia-machida.pdf>



ITC-Asia 2018

IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

- ITC Asia 2018 での企業展示



- IWCR 2018 のオープニングセレモニー



- LSI テスト関係の国際学会は、昨年から ITC Asia に加えて ITC India も開催されている。一方、韓国では LSI テスト関係の国際会議は Asian Test Symposium 等も含めて開催されていない。これは韓国の大学にこの分野の研究者がいないためらしい。

「文明は東から西へ」(ヘーゲル)



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

- ITC Asia ソーシャルイベント 1 (シベリア虎を見る)



上記での赤の文字は 「虎」の古い漢字とのこと





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



学会主催ソーシャルイベントに参加し、学会参加者と知り合い親しくなれる。

海外の大学の研究者も、お人柄が日本のいわゆる「学校の先生」である方が多いような印象を持っている。

「職業は人を創る」



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● ITC Asia ソーシャルイベント 2



氷の上でのパフォーマンス(Ice Show). ハルピンの冬は長く、極寒であるとのこと.

学会で AI, セキュリティ, LSI 試験の話をお聴きしていると、チューリングマシンで名を残しているアラン・チューリングが第2次世界大戦中、暗号解読の研究にしていた話を思い出します。セキュリティ, LSI 試験の研究は暗号解読に感覚が共通のところがある。



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● 哈爾濱のダウンタウン



哈爾濱は中国に露西亜の文化がミックスされたエキゾチックな雰囲気のある町。
避暑地にもなっている。



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



哈爾濱は広大な大都市である。
高層ビルが延々と続き、メインストリートは片側 6 車線ある。



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



町の人の表情もその地の重要な情報である。



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



- 「デジタル国家」への予兆を見る
 - 電子マネーによるキャッシュレス化
 - スマートフォンによるタクシーの配車
 - スマートフォンによる自動翻訳が、ホテル・空港・タクシー等で普通に使われている



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



地元の人の表現 “Full of Russian architectures”



平日にもかかわらず、夕方には多数の人出



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● 哈爾濱は音楽好きの町



2階からバイオリンの演奏



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● 夜の哈爾濱ダウンタウン





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● 露西亞レストラン





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

- 哈爾濱工業大學 (Harbin Institute of Technology: HIT)



Harbin Institute of Technology からの論文は集積回路分野でも目にする



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



「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)

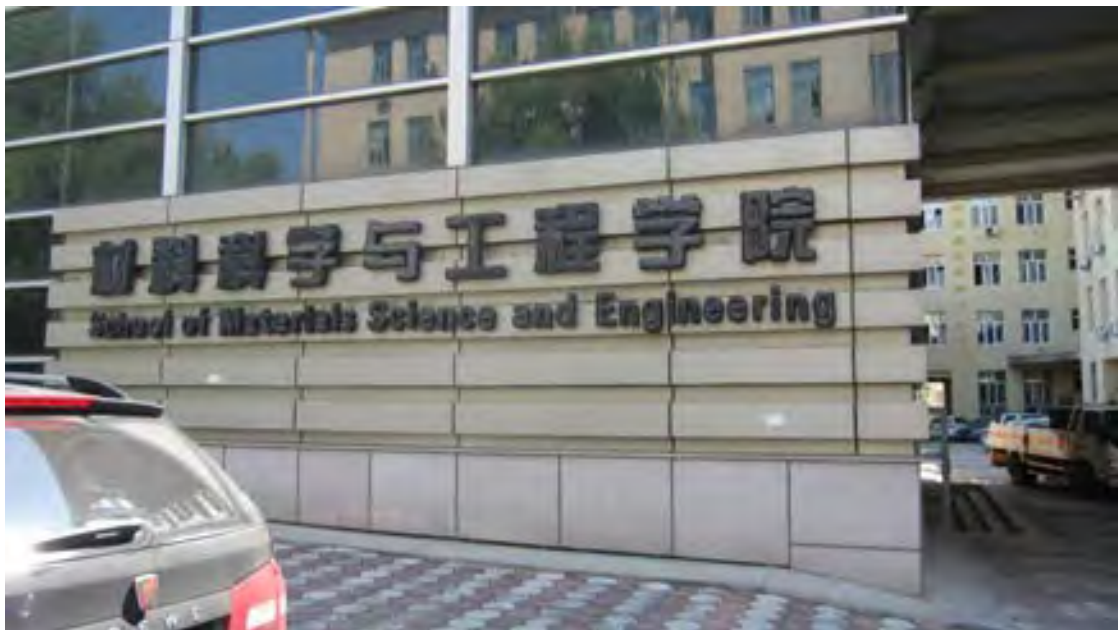


ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



● ハルビン工業大学 (インターネットより)

ハルビン工業大学は1920年に黒龍江省ハルビン市で創設された。1954年に国内6校の重点大学に指定されて以来、一貫して国の重点育成対象大学となってきた。1996年には全国に先駆けてハルビン工業大学が211工程対象校となったほか、1999年には世界の一流大学を目指す9大学の一つにハルビン工業大学が指定された。ハルビン工業大学は理工系を主体としつつ、文学、経済学、法学などの学域をも網羅する総合大学である。ハルビン工業大学は特に宇宙工学の領域で優れた成果を残している。世界の耳目を集めた中国初の有人宇宙船「神舟」ではハルビン工業大学が故障診断システムなど重要な部分の開発に携わったほか、中国



初の大学自主開発人工衛星「試験衛星 1 号」でも主導的な役割を演じた。現在でも月探査プロジェクト（嫦娥計画）にハルビン工業大学は積極的に関与しており、中国宇宙工学の分野でハルビン工業大学が残してきた足跡は非常に大きい。校訓である「規格厳格，功夫到家」の伝統に則り，個性を育成と緩やかな管理を教学方針とし，優れたエンジニアとしての能力と協調性を兼ね備えた想像力あふれる人材の育成に努めてきた。ハルビン工業大学は創立以来 10 余万人の人材を輩出してきたが，そのいずれもが国家や 学術領域の中枢人材や，著名な企業家となっている。日本の経済産業省は同大学がミサイル開発に関与している懸念があるとして，懸念者のリストである外国ユーザーリストに掲載している。

ハルビン工業大学 1920 年に「ハルビン中露工業学校」として創設された。当時，奉天軍閥が当地で東清鉄道を運営しており，ハルビン中露工業学校は鉄道技術者の養成機関として設立されたものだった。ロシアの教育制度が導入され，授業はすべてロシア語で行われた。1928 年に所轄が中華民国東省特別行政区となり，校名も「東省特区工業大学校」に改称された。同年，それまで鉄道，機械系だけだった同校に法政学院と商学院が開設され，「ハルビン工業大学校」に改称された。ハルビン工業大学校は中ソ共同管理となり，張学良が理事会主席となった。満州国が建国されるとハルビン工業大学校は日本に接收され，授業は日本語で行われるようになった。1936 年に「国立ハルビン高等工業学校」に改称され，1937 年以降は日本式の授業が行われるようになった。「ハルビン工業大学」に改称されたのは 1938 年で，以降現在に至るまで，ハルビン工業大学の名称が使われている。

第二次世界大戦後，ハルビン工業大学は中ソ共同管理に戻り，鉄道技術者養成を主とした。学制は 5 年で授業はロシア語で行われた。ハルビン工業大学は新中国建国後の 1950 年に中国の管理する大学となり，当時の親ソ路線の下，ソ連の工業技術を摂取する大学とされた。

1966 年に始まった文化大革命はハルビン工業大学にも大きな影響を与えた。ハルビン工業大学は 1970 年に一部の人員と大部分の物資を重慶に移動するよう指示された。そして重慶でハルビン工程学院原子工程系と統合し，「重慶工業大学」に改組された。ハルビンに残った部分は黒龍江工学院，ハルビン電工学院と合併し新「ハルビン工業大学」に再編された。1973 年に国の指示で重慶工業大学はハルビンに戻りハルビン工業大学に編入されたが，一連の経緯を受けてハルビン工業大学は大きなダメージを受けた。文化大革命が終結した 1977 年，ハルビン工業大学は本科生の募集を再開した。78 年には修士，82 年には博士の募集も始め，84 年には全国 15 大学の重点建設大学に指定された。さらに 96 年には全国に先駆けて 211 工程の対象大学に指定された。これらを通してハルビン工業大学は現在の中国東北部最高学府としての地位を不動のものとした。



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● 哈爾濱駅（鐵道）





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



- 乗り継ぎの仁川国際空港（韓国）





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● 哈爾濱でのキリスト教 正教会



ハルビン駅近くのロシア正教会（東方正教会）

Catholic に対して, Orthodox を称する.

コンピュータで使用される「Icon(アイコン)」の用語は 正教会の聖像「イコン」から

●下記は哈爾濱の観光案内によく用いられる教会写真であるが、今回は改修中であつた.





ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

● 哈爾濱國際空港



空港にはロシア語での表示もある。

ロシア語アルファベットは、キリル文字、ギリシャ文字がオリジンである。
「船が難破して…」という話は誤伝。



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China



- 哈爾濱空港は国際線と国内線の発着ターミナルがかなり離れている（バスで移動）。国内線が主体で、国際線は1日に数本程度



ITC-Asia 2018
IEEE International Test Conference in Asia
15-17 August 2018 • Harbin, China

- 2019 年の ITC Asia は日本で 9 月に開催
東京電機大学（東京 北千住キャンパス）
General Chair 井上智生先生（広島市立大）梶原誠司先生（九州工大）

謝辞： ITC Asia 2018 のプログラム委員にお誘いいただきました
温暁青先生（九州工大），現地でお世話になりました小野寺秀俊先生（京都大学），
学生の町田恒介君の旅費・参加費援助をしていただきましたスズキ財団に
感謝の意を表します。

付録：中国科学院（Chinese Academy of Sciences）

今回の ITC Asia は中国科学院(Chinese Academy of Sciences)がホストであった。

<http://english.ict.cas.cn/>

中国科学院は日本の理化学研究所，産業技術総合研究所に相当するようである。

以下，インターネットからの情報を記す。

中華人民共和国におけるハイテク総合研究と自然科学の最高研究機関であり，
國務院の直屬事業単位である。設立は中華人民共和国設立からちょうど 1 カ月後の
1949 年 11 月 1 日である。

中国科学院の実質的な前身は中央研究院と北平研究院である。中央研究院は中華民国
および国民政府の台湾移転に伴い，台北市へ移転し，そこで再建された。北京では
中華人民共和国の建国後，残った施設や人員により中国科学院が創設された。
創設当時は中央研究院と同様，人文・社会科学に関する研究所も同院には存在した。
1955 年に学部が成立し，中国科学技術の最高諮問機関。現在，数学物理，化学，
生命科学・医学，地学，情報技術科学，技術科学学部の 6 学部がある。

1977 年に中国社会科学院が創設され人文・社会科学の研究所はそちらへ移管された。
また 1994 年には中国工程院（Chinese Academy of Engineering）が設立され，
中国科学院と共に「両院」と呼ばれている。

北京，上海など 12 都市に分院があり，研究所，国家重点研究室，新聞発行機関，
国家授時センター（標準電波局）を所有する。中国科学技術大学，中国科学院大学は同
科学院に属する大学である。

2011年9月7日

瀋陽化工大学訪問記

電気電子工学専攻 小林春夫

1. はじめに

瀋陽化工大学（沈阳化工大学 Shenyang University of Chemical Technology）の袁徳成 副校長先生 Prof. Yuan Decheng よりご招待のメールをいただき、下記のスケジュールで2011年9月1日(木)から9月5日(月)まで同大学を訪問させていただいた。

Dear Professor 小林春夫

I here represent Shenyang University of Chemical Technology sincerely invite you to visit our College of Information Technology this year, the cost of which will be fully paid by us. It will be warmly welcomed if you would give us a speech on the current research progress. Shenyang University of Chemical Technology and Gunma University have shared a harmonious friendship, cooperation and communication for more than 20 years, and several professors that come before to give speeches had been greatly appreciated. We believe that this visit will certainly be another successful and memorable event. We are grateful for all the help and assistance you and the faculty at Gunma University has long offered our exchange students, particularly your guidance to Li Murong. Were it probable for you to arrange this visit, we may discuss the details in the future. Again, we look forward for your reply.

Vice Principal of Foreign Affairs

Prof. Yuan Decheng

Shenyang University of Chemical Technology

Thursday, Sept. 1, 2011

13:25 Depart from Narita International Airport

15:30 Arrival at Shenyang Taoxian Airport

18:00 Welcome party, by foreign affairs department

Friday, Sept. 2, 2011

09:00 Touring of Campus

09:30 Meet with Principal Prof. Pang Yujun

10:00 Prof. Haruo Kobayashi give a talk

11:00-11:30 Quest and communication with students
12:00-13:30 Welcome lunch, by Information Engineering College
14:00-15:30 Visit Lab
16:00-20:30 Party, by alumna of Gunma University

Saturday, Sept. 3, 2011

08:10 Start to tour Benxi Water Cave
12:30 Taste Old side dumplings
14:00 Visit Shenyang Imperial Palace
15:30 Depart for Dalian city
20:00 Arrive at Dalian

Sunday, Sept. 4, 2011

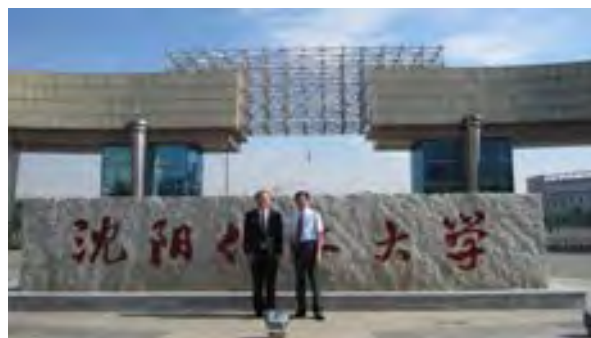
09:00-18:00 Touring of Dalian

Monday, Sept. 5, 2011

08:00-09:50 Visit Information Department of Dalian University of Technology
10:00 Start to go Dalian Airport
13:00 Departure to Narita Airport



袁徳成先生（右）と大学図書館前で



李安東先生（右）と大学入口で



2. 群馬大学との姉妹校関係

同大学と群馬大学とは20年以上にわたり姉妹校であり、これまで化学系学科、生産システム工学科の先生方を中心に交流を深めてきたとのことである（お恥ずかしい話であるが、私は詳しくは知らなかった）。2009年10月より同大学の電気工学科からの交換留学生（学部 特別聴講生）李慕容さんを研究室に受け入れているのがご縁で今回御連絡を受けた。

群馬大学では同大学との関係の基礎を、化学系の大澤善次郎先生が築かれ、久保田仁先生が発展させ、現在研究室後継者の黒田眞一先生が継承・発展させているとのことである。（群馬大学の化学系の何人かの先生はこれまで何人も同大学と交流をしてきている。）また、近年では生産システム工学科 保坂純男先生、楠元一臣先生、尹友先生等が同大学を訪問されているとのことである。とくに、同大学には久保田先生の研究室で博士号を取得された、また訪問研究員としておいでいただいた先生方が何人かおられる。電気電子工学科からは今回私が初めての招聘とのことである。

国際教育学院長の李安東先生 (Prof. Andong Li) が常に同行してくれ、ご説明いただいた。

3. 瀋陽化工大学

同大学名は瀋陽化工大学であるが、とくに「化学工学」に特化していることではなく（化学系の先生の数は6分の1程度）、電気系・情報系を含めて広い工学分野をカバーしている。瀋陽市の郊外にあり、1km 四方の広大なキャンパスである。図書館、各学科の建物は非常に立派で設備も充実している印象を持った。周りが工業地帯になっており、地元企業はもちろん省を越えた企業とも産学連携は活発に行われている。大学構内に新しい建物がどんどん建てられているようで、急速に発展しているという印象である。非常に大規模な大学という印象であるが、中国では中堅の大学とのことである。（中国は人口が多く、日本での感覚とは異なるとおもった。）



瀋陽市の大学進学率は50%を超えており、日本企業は約1000社が進出している。瀋陽市は2年後に（世界規模の）陸上競技の会場になるということで、あちこちでその準備の工事が行われている。また、遼寧省からは日本に留学する学生が多いとのことである。（私の研究室の中国からの留学生の何人かは同省およびその近隣の省の出身である。）



Yujun Pang 学長にも面会させていただき、同大学「客座教授」の称号をいただいた。Changsong Wan 副校長先生をはじめとして Gia Sheng Nian 先生、Liping Fan 先生、Lina Ma 先生、Wei Lifeng 先生、Shan Shi 先生、Yajuan Tian 先生、第一線で研究をされている若手・中堅の先生方から説明を受け、話をさせていただいた。また国際教育を担当されている Chmaberlain Zhang さんにも大変お世話になった。

群馬大学と私の研究室の紹介のプレゼンテーション、学生との質疑応答の機会をいただいた。さらに、群馬大学で訪問研究員、博士課程取得をされた先生方との懇談会を開催していただき、大歓迎を受け、内心非常におどろいたというのが正直なところである。



4. 中国の自然と歴史

9月3日(土)、4日(日)に観光につれて行っていただいた。

本溪水洞 (Benxi Water Cave) 観光

2km にわたる世界最大の自然の洞窟水道で、ボートに乗って観光した。中国は自然のスケールが大きいと思った。瀋陽からの同所への途中は緑豊かであり、これらは漢方薬の薬草・原料になるので漢方薬の工場が多数あるとのことである。(中国東北部すべてが緑豊かなわけではなく、場所によるとのことである。)



Prof. Xuejun Zong (右)

沈阳故宫 (Shenyang Imperial Palace) 観光

瀋陽市は「清朝 (後金)」の最初の首都でありその王宮が保存されている。
後に遷都した北京での王宮はこの10倍とのことである。



5. 旅順にて平和と戦争を思う

私は なぜこれほど歓迎してくれるのかの瀋陽化工大学の真意を知りたかった。
李先生と何日か話をしていて次のようなことが分かった。

李先生は20数年前に九州大学に留学しており、日本文化・社会を熟知し日本語も堪能である（御子息も現在日本で会社勤めをされているとのことである）。

「アジアは広大であるが、その中で東アジア地区に焦点を当てて考えれば、一つの文化圏であり、その中で平和は重要である。そのためにはそれぞれの国の若者を中心に国際交流をはかっていく必要がある。自分は群馬大学と富山県立大学が担当である。富山県立大学からこの9月に20-30名程度の学生の短期滞在を受け入れる。初級中国語講座30時間程度、中国社会文化講座30時間程度（そのうち半分は座学、残りの半分の時間は大学近辺の工場等の見学）を提供するが、無事うまくいくかどうか緊張している」と話されていた。

群馬大学からも来年FLCプログラムで何人か学生を受け入れてくるとのことである。
民間レベルでの国際交流が重要であると何度も言われていたのが印象に残っている。

第2次大戦終了直後、米国フルブライト上院議員は交換留学制度の法案を提出し、その制度で世界中の多くの若者を米国大学に招いてきている（フルブライト留学制度）。フルブライト氏自身が若い時に海外留学をしており、その経験からお互いの国の文化・人々を理解することが国際平和を推進すると考え、交換留学生制度を提案したと言われている。

李先生の言葉を聴き、このことを思い出した。李先生の国際交流の仕事の個人的な強い動機は東アジア地区での長期的な平和に貢献したいということのように感じられた。留学先の国はその留学生にとって第二の祖国となる。瀋陽化工大学から群馬大学留学の同窓生達との懇談会から 彼ら/彼女らは その指導教員(久保田先生)を第二の父親と思っているとの印象を受けた。李先生はご自身の日本留学経験から留学生の気持ちが分かるのであろう。



日露戦争の大激戦地である大連市の旅順区は大連市中心から比較的近くに位置する。
旅順には日露戦争の遺跡・祈念碑が多数残されており、それらを巡りながら平和と戦争について思った。

6. 大連理工大学訪問

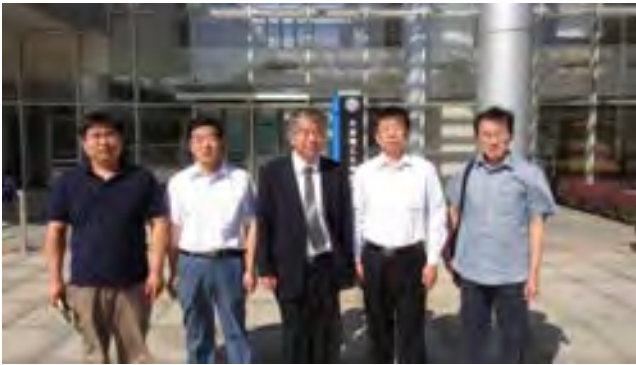
最終日に袁徳成先生のご案内で、大連理工大学の電子情報工学部長 Prof. Tang Zhen An に面談させていただき、IC 設計研究室 (Prof. Wang Wei) を訪問させていただいた。若手の Prof. Xiaoming Chen は 2009 年まで東芝、STARC に勤務されていたとのことである。同大学は Intel, Mentor Graphics, Agilent, IMEC, 幾つかの日本企業と連携している。米国の大学の先生方も招聘して講義をしてもらっている。近くにソフトウェアの会社 (中国最大のソフト会社 NeuSoft 等) が集積しているとのことである。



Tang Zhen An 先生 (左)



Wang Wei 先生 (右)



Xiaoming Chen 先生 (最左)



なお、大連理工大学とも群馬大学は姉妹校関係を持っている。

大連市では地下鉄を整備するための大きな工事が行われており、また空港では日本人ビジネスマンも目に付いた。同大学、大連市は急速に発展している印象をもった。

7. 最後に

電気電子分野でも群馬大学と瀋陽化工大学との関係を深めていきたいと強く決意した。

謝辞

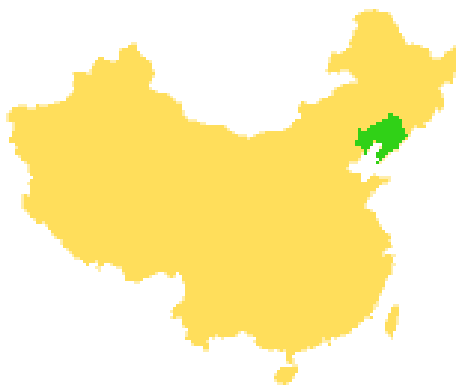
お世話になった瀋陽化工大学、大連理工大学の方々、これまで同大学との友好関係を築かれてきました群馬大学の方々に感謝いたします。

群馬大学 生産システム工学科 黒田眞一先生からのメッセージ

瀋陽化工大学は、瀋陽工業大学など、近隣の大学や、何よりも遼寧省政府との関係が強く、中国における私たちのパートナーとして、大変重要な大学であると思っています。幸い、教員や学生の交流も盛んな状態が続いておりますので、これからもこの関係を大切にしていきたいと考えています。個人的にも、李安東先生とは兄弟のようなお付き合いをさせていただいており、2000年には3か月ほど瀋陽化工大学に滞在していたこともあり、瀋陽は第2の故郷のように感じています。

遼寧省、瀋陽市の情報

以下は 石川信宣 技術専門職員がインターネットで調べてくれた瀋陽化工大学のある遼寧省、瀋陽市関係の情報である。



中国 遼寧省



瀋陽(Shenyang)、大連(Dalian)

瀋陽市：

瀋陽市（しんようし、英語:Shenyang）は中華人民共和国遼寧省の省都。欧米諸語では、ムクデン（Mukden）のほうが用いられた。中国東北部（満洲）の主要都市の一つ。市名は、「瀋水ノ陽」の意味で、市内の南部を流れる渾河の古名・瀋水の北に位置することから由来した。国家歴史文化名城に指定される観光都市でもある。経済的重要性から省クラスの自主権をもつ副省級市にも指定されている。市区人口は506.6万人、都市圏人口は786万人と東北地方最大の都市である。瀋陽の歴史は大変古く、7200年前には定住集落（新樂遺

跡)があったことが知られている。その後はしばらく地域の重要地方都市的な位置にあった。遼寧省 瀋陽市 は第二次世界大戦の頃は奉天と呼ばれ、張作霖がいた場所でもある。瀋陽南駅は、東京駅と同じデザインである。

唐代は瀋州が置かれ、元代には瀋陽路、明代には瀋陽中衛が設置された。

17世紀初、サルフの戦いに勝利した満洲族のヌルハチは後金を建国、瀋陽を都城と定め、1634年(順治元年)には盛京(満洲語ムクデン)と改称された。その後清と国号を改めた後金は1644年(天聰8年)に明朝の滅亡後の中国を支配し、北京に遷都するが、盛京はその後も副都とされた。1657年には奉天府が設置され、形式的ながら中央政府に準拠した官制が整備され、現在でも副都としての瀋陽故宮が残っている。1664年(康熙3年)には承德県が新設され、奉天府の府治とされた。

19世紀後半以降、それまで漢民族の移動が認められなかった満洲が、ロシア帝国の南下政策に対抗すべく、禁地政策が解禁され開発が急速に推進されると、瀋陽は地域の中心としての役割を担うようになった。

1910年(宣統2年)には承德県が廃止され、県域は奉天府の直轄とされ、1912年(民国元年)、辛亥革命により清朝が滅亡すると、2月に承德県と改称されたが、河北省に同名の承德県が存在したことから5月には瀋陽県改称された。その後は中華民国臨時政府を巡る混乱の中、1923年(民国12年)には奉天市が設置され奉天省の省会とされた。1929年(民国18年)にはそれぞれ瀋陽市、遼寧省と改称されている。その後は張作霖や張学良を代表とする奉天軍閥の拠点となった。しかし鉄道駅を中心とする市街地の大半は南満洲鉄道の付属地とされ、日本が行政権や警察権を掌握していた。

1931年満洲事変により関東軍に占領されると、奉天市と再度改称、1945年(民国34年)、日本の敗戦後により中華民国に施政権が移管されると、瀋陽市と再改称されている。1949年には中央直轄市に昇格、1954年に地級市に改編され遼寧省の省会として現在に至る。

瀋陽市は地級市(地区クラスの市)として9市区、1県級市、3県を管轄する。

市区： 和平区、瀋河区、皇姑区、大東区、鉄西区、於洪区、東陵區、蘇家屯区、
瀋北新区

県級市： 新民市

県： 遼中県、康平県、法庫県

工業が盛んであり、市の郊外には多くの重化学工場が立ち並んでいる。瀋陽市内のみならずその近隣都市圏は撫順の石炭・鞍山の鉄鉱石、やや遠いながら黒竜江省大慶市の油田などの豊富な資源を生かした一大コンビナートであり、20世紀後半の中国を工業面で支えた。この中には、戦闘機生産(瀋陽飛機工業集団)、自動車生産(華晨汽車、ドイツBMWの生産)などもある。

瀋陽を始めとする満洲は、近年外資を導入した長江デルタや珠江デルタ地域の経済発展に習おうとしている。このため中国政府は東北振興を旗印に東北開発を重点的に支援しており、瀋陽も近代都市に変貌しつつある。中国最大のソフトウェア開発・ITサービス会社（東軟グループ）も本社を置いている。2003年の全市生産総額（GDP）は1,602億人民元で、全省の4分の1を占める。

満洲国時代の在留日本人： 安部公房（小説家） 小澤征爾（指揮者） 冬柴鉄三（政治家）

群馬大学電子情報部門 小林研究室15名 中国重慶市に見参 百聞は一見に如かず

群馬大学理工学府 電子情報部門 小林春夫・桑名杏奈

1. 研究室での海外研修の目的

筆者らの研究室ではここ数十年、毎年のように大勢の学生とともに研究室修学旅行として中国、台湾、ベトナム、マレーシア等のアジア諸国で開催の電気電子工学分野の国際会議に参加している。次の目的・理由のためである。

- ・アジア諸国で製造業が急速に伸びており学生に対し有意義な工学教育になる。
- ・学生に国際会議で英語の論文作成 / 発表を経験させる。
- ・研究室の研究成果を対外的にアピールする。
- ・海外の研究者と交流し先端技術情報を得る。
- ・海外から日本を見るのは視野・発想を広げる。

2. 2019年は中国・重慶市を訪問

2019年10月29日-11月3日に下記15人のメンバーで重慶市を訪問し、中国での集積回路分野の最大の国際会議 IEEE International Conference in ASIC (ASICON) にて多数の論文発表を行い、重慶大学を訪問した。ここ5年間、中国開催の国際会議に参加しているが、社会経済が急速に伸び、科学技術が応用でも基礎でも米国と拮抗していることに気が付く。一方、中国の街中では英語はほとんど通じないことも体験する。

・研究室からの参加メンバー

(博士後期課程学生) 孫逸菲、王識宇、Tran Minh Tri、魏江林

(博士前期課程学生) 藤啓功、張鵬飛、青木里穂、八田朱美、阿部優大、片山翔吾、張謙豪、沙磊、平井愛統

(教員) 桑名杏奈、小林春夫

3. 中国重慶市の歴史・地理と現在

重慶市は中国内陸の南西部で長江沿いに位置し、3千年の歴史をもつ。現在北京市、天津市、上海市とともに直轄市である。直轄市となったのは最も新しく、面積・人口とも最大である。三国志の英雄

「劉備玄德」終焉の地である白帝城も重慶市に入っている。現在は自動車を中心とした産業が集積しており、多数の日本企業も進出している。重慶大学はこの地の核になる大学である。

学会会場と重慶大学は長江と嘉陵江が合流している地にあり、近代的な建物も立ち並び、「中国南西部のマンハッタン」の感がある。



中国での重慶市の位置



学会会場(重慶ヒルトンホテル)と重慶大学

4. 国際会議 ASICON2019の様子

参加した国際会議 ASICON は IEEE (米国電気学会) および名門復旦大学主催の中国最大の集積回路関係の国際会議で、テーマはデバイス、回路、テスト、モデリングなど幅広くカバーしている。本会議は1994年から隔年で中国の景勝地にて開催されている。この国際会議は数年前に群馬大学 尹友先生にご紹介いただいた。世界中から多くの研究者を招聘してのキーノート講演・招待講演で先端技術情報を提供し、一般講演では大学院生が主体になり発表を

行うことで、この分野の人材を育成している印象である。現在中国は国策として半導体に力を入れている。

今年の ASICON は参加者 400人程度で、発表件数は以下の通りである。

キーノート 8件、招待講演 70件

口頭発表 108件（採択率35%）

ポスター発表 85件（採択率 25%）

同様の主旨で中国では集積回路関係の国際会議 IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT) が隔年で開催されている。

ASICON は回路・システム設計寄り、ICSICT はデバイス寄りの分野をカバーしている。これらを実質的に運営しているのは復旦大学である。

2020年は雲南省で ICSICT が開催され（参加検討中）、ASICON はお休みである。これらで発表した論文は IEEE データベース (IEEE Xplore) にほぼ半永久的に格納される。



ASICON2019のオープニング

5. 国際会議 ASICON での研究室からの発表

研究室から招待論文2件、一般論文15件を口頭発表した。ご指導・ご協力いただきました共著の共同研究者の方々に感謝いたします。この中で、阿部優大君、平井愛統君が Excellent Student Paper Award を計2件受賞した。



筆者(桑名)の発表

招待論文(小林2件)では当研究室でのある研究テーマの一連の発表論文のつながり・研究思想を解説・説明するようにした。



会場での研究室メンバーの集合写真

採択されなかった一般論文はリバイズして他の国際学会で捲土重来を期したい。

日本の地方大学の一研究室が大勢で ASICON に参加・発表したことは、主催者側も日本の招待講演者の方々も驚いたようだ。群馬大学17件の発表件数は復旦大学の46件に次ぐ。日本メーカーのキーノートスピーカーの方に最終日のバンケットの際に「おめでとうございます。国際人を育てていますね」と声をかけていただいた。

が、逆にこのようなことを許容し、むしろ歓迎して礼を尽くしてくれる学会主催者側の懐の深さを感じる。こちら側の発表論文に対するプログラムもぴったりしており、筆者(小林)をプログラム委員に名を連ねてくれた。



学会最終日でのバンケット

6. 名門 重慶大学訪問

重慶大学は訪問時に90周年を祝っていた。中国留学生(魏江林君)によりコンタクトしてもらい、同大学の重鎮の ASICON2019 General Co-Chair 曾孝平先生、General Co-Chair 劉敏先生を訪問・面談できた。昼食をご招待していただき、そこで蔡岳平先生(電気通信大学で博士号取得)に「重慶大学での教員評価の重点は何か」を問うと「論文はもちろん重要だが、それがいかに実用化・社会に貢献したかも重要だ」の答えに今の中国経済成長の一因を垣間見た。

以下は学生の青木里穂さんの重慶大学見学での感想である。

「日本の大学と比較して圧倒的に広く、公園や競

技場などもあったので驚いた。教授や学生が研究するだけの場所ではなく、子どもから高齢者まで幅広い年代の人たちの憩いの場となっていた。施設内も新しくて奇麗で、最先端の設備が整っており、大学というよりは大企業に近いと感じた。高層ビルもあったが、中国の歴史を感じさせる文化的な建物もあり観光名所のような感じだった。人工知能などの研究をしている研究室を見学させてもらったが、環境も技術も日本より進んでいるという印象を受けた。」



重慶大学の先生方との交流



重慶大学正門



重慶大学の先生方との集合写真

7. 重慶市視察

中国留学生が案内してくれ、重慶市のあちこちを訪問した。国際学会が開催されるのは場所も時期も非常に良いことが多い。街の人の表情も有益な情報である。短い時間で重慶をリアルに実感できた。



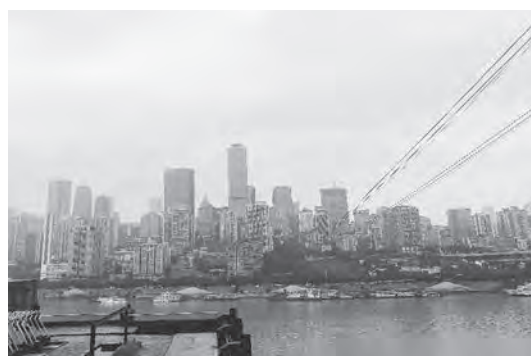
重慶の古い町並み 磁器口古鎮



重慶歴史博物館



重慶の夜景 長江クルーズ観覧船



長江ロープウェイから見た風景

8. 重慶市での食事・料理

中国に限ったことではないが、料理はその土地の文化そのものであると思う。今回訪れた重慶は四川料理が根差した地方である。冬寒く、夏は蒸し暑い厳しい気候から体を守るために、冬は身体を温め、夏は食欲を促進させるような料理が特徴的である。具体的には、麻婆豆腐、エビのチリソース、担担麺などの辛い料理、豆板醤、甜麵醬などの味の濃い調味料を使った料理が多い。特に重慶名物の「火鍋」は唐辛子を惜しみなく使っており、文字通り火のような辛さを誇る。



重慶名物の火鍋

中国西南部の人の味覚に関する中国語の俗諺で、「四川人(重慶人)不怕辣、湖南人(長沙人)辣不怕、貴州人(貴陽人)怕不辣」というものがあるらしい。「四川人(重慶人)は辛さを恐れず、湖南人(長沙人)は辛さで威すことはできず、貴州人(貴陽人)は辛くないのを恐れる」というような意味で、いかに「辛さ」がその土地に根差しているかがうかがえる。

貴州では辛い料理を「油辣：ラー油の辛さ」、「糊辣：焦がしトウガラシの辛さ」、「干辣：干しトウガラシ

の辛さ」、「青辣：青トウガラシの辛さ」、「糟辣：糟漬けトウガラシの辛さ」、「酸辣：すっぱく辛い」、「麻辣：花椒でしびれるように辛い」、「蒜辣：にんにくで辛い」の8つもの味に分類できるらしい。学生が口をそろえて「辛い中に複雑な旨味がある」「辛いけど美味しい」と言うのにも合点がいった。「ただ辛い」だけではない。現地の品は味に迫力があるのである。どんな高級な素材を使っても、たとえ現地の調味料を使っても、その土地の気候・風土・文化に根差した料理、現地の美味は、一朝一夕で真似できるものではないと思った。その美味が、高級料理店ではなく街の身近な露店で食べられる中国の料理体系は素晴らしいと思う。

[参考] Wikipedia: 貴州料理

9. 最後に

中国での社会経済・科学技術が急速に伸びていることをいたるところで見聞きする。GDPは日本の3倍、先端科学技術は多くの分野で米国とトップを競っている。最近中国の方から「自分が子供のときに父親の海外の友人の方からチョコレートを送ってもらった。それまで食べたことがなかったが、関税をはらうことができず送り返した。当時と今の中国社会経済とは隔世の感がある」との話聞く。筆者(小林)は、日本社会は早く現在の中国社会の状況に気がつくべきと思う。

謝辞

学生の海外渡航費を援助いただきました、群馬大学科学技術振興会、スズキ財団、電気学会、群馬大学大学院生海外研究派遣助成プログラムに感謝します。

差動信号と信号ノイズ比の問題

- 2つのシングルエンド信号

$$V_p(t) = s(t) + V_{n1}(t)$$

$$V_m(t) = -s(t) + V_{n2}(t)$$

$s(t)$: 信号成分 (例えば $s(t) = A \sin(\omega t)$)

$V_{n1}(t), V_{n2}(t)$: 平均値ゼロ、標準偏差 σ 、独立なノイズ

- 差動信号 $V_{diff}(t) = V_p(t) - V_m(t)$
 $= 2s(t) + [V_{n1}(t) - V_{n2}(t)]$

シングルエンド信号 $V_p(t), V_m(t)$ に比べて信号ノイズ比は ?

差動信号は信号ノイズ比3dB 向上

- 差動信号 $V_{diff}(t) = V_p(t) - V_m(t)$
 $= 2s(t) + [V_{n1}(t) - V_{n2}(t)]$

シングルエンド信号 $V_p(t), V_m(t)$ に比べて信号ノイズ比は ?

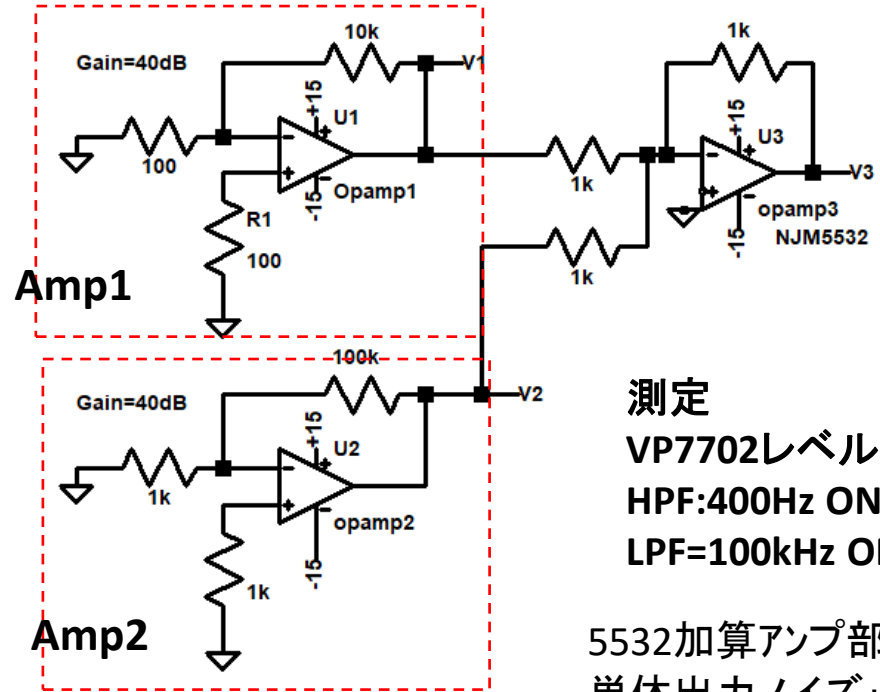
- **誤り:** 信号成分2倍になってもノイズ成分も2倍
→ 信号ノイズ比は変わらない
- **正解:** 信号成分2倍、ノイズ成分は $\sqrt{2}$ 倍
→ 信号ノイズ比は $\sqrt{2}$ 倍 (3dB) 向上

Ampノイズ加算が成り立つか確認実験

$$V_{sum} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$$

Amp1とAmp2はどちらも40dBゲインだが、使用する抵抗値を10倍変えて、抵抗からの発生ノイズを変えている。

結果、ノイズの上式2乗加算は成り立っている。



測定
 VP7702レベル測定
 HPF:400Hz ON
 LPF=100kHz ON

5532加算アンプ部
 単体出力ノイズ:
 13uVrms
 VP7702入力短絡
 ノイズ:11uVrms

U1/U2 オペアンプ	実測出力 ノイズ			計算 $V_{sum} = \sqrt{V_1^2 + V_2^2}$
	V1(uVrms)	V2(uVrms)	V3(uVrms)	
NJM5532	146	217	265	262
TL082	370	385	535	534

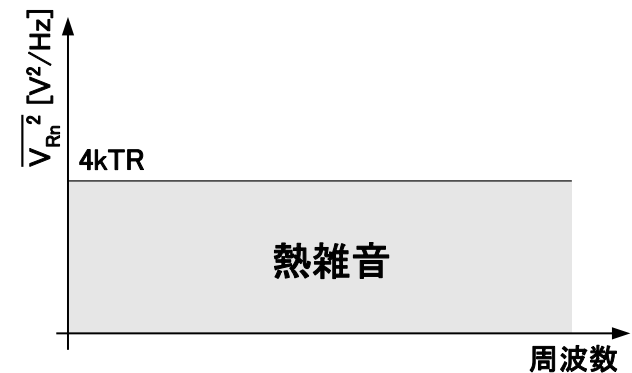
予備知識 熱ノイズ

電流： 電荷の平均的な流れ

ノイズ： 電荷のランダムな動き

抵抗で生成される熱ノイズ

$$\overline{V_n^2} = 4kTR \Delta f$$

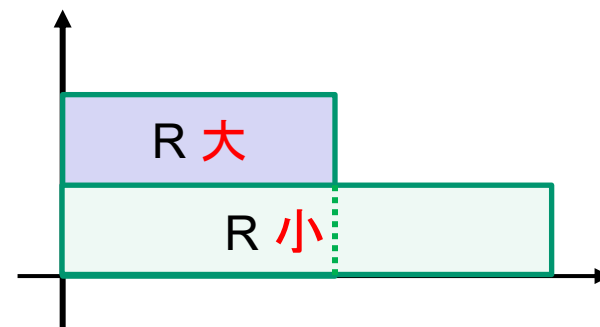
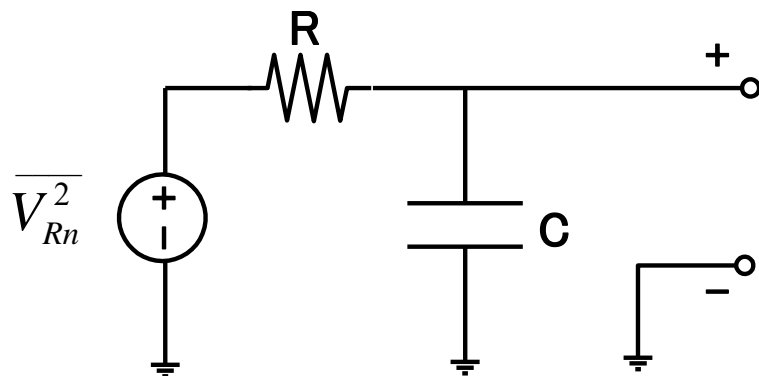


容量で生成される熱ノイズ

ゼロ

現実の回路では

- C 大 → 熱ノイズパワー 小
- Rの値に依らない
R 大 → Δf 当たりの熱ノイズ 大、帯域 狭



$$P_{n,out} = \int_0^{\infty} \frac{4kTR}{4\pi^2 R^2 C^2 f^2 + 1} df$$

$$= \frac{kT}{C}$$

雑音パワー

kT/C ノイズ

サンプリング回路の 信号ノイズ比と帯域の考察

電子回路研究会(大阪)

2007.03.30

群馬大学 小林研究室

○上森将文 小林謙介(コンサルタント)

小林春夫 清水一也

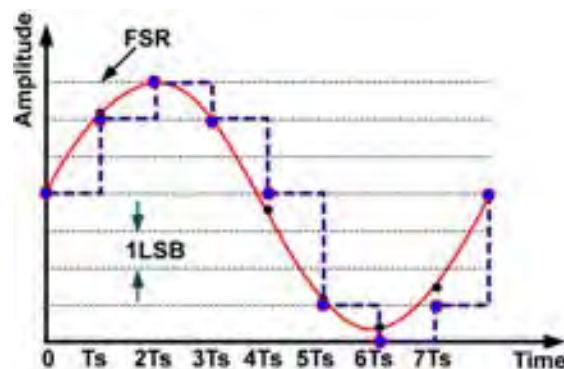
目次

- 研究の現状と目的
- 問題設定
- 2つのS/H回路
- 統一化したサンプリング理論
- SPICEシミュレーション
- 伝達関数から計算した最適値のまとめ
- まとめ

研究の現状と目的

目的

- 通信・計測器分野での
高精度広帯域信号サンプリング技術の新提案
- 信号・帯域幅と最大SNRの関係
の理論式の導出



サンプリング回路技術の現状

■ A/D変換前段のS/H回路

– サンプリング時間が十分に長い場合

• **トラックホールド回路**

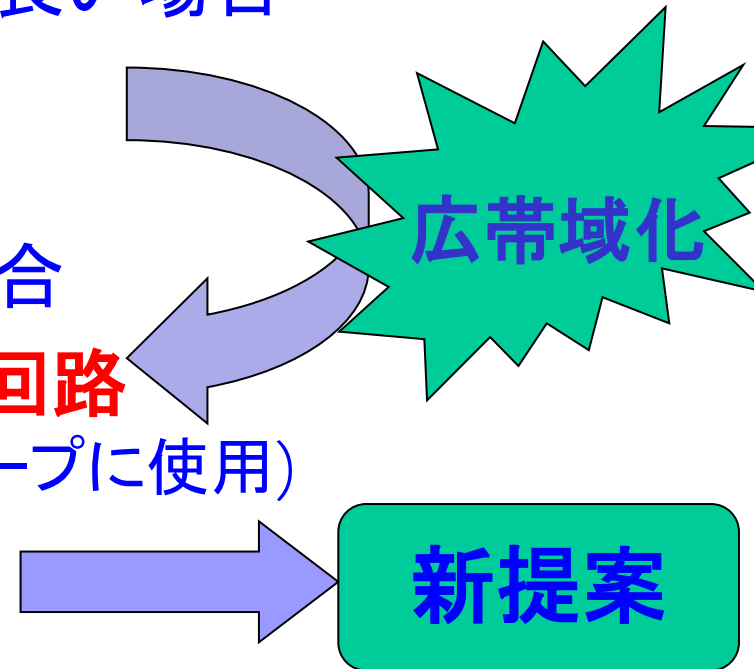
(SoC上のADCに使用)

– サンプリング時間が短い場合

• **インパルスサンプリング回路**

(サンプリングオシロスコープに使用)

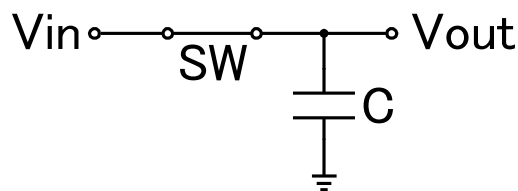
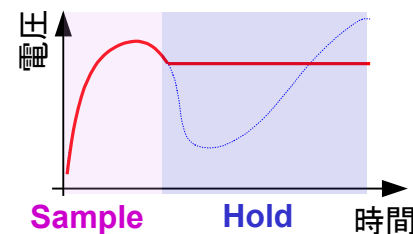
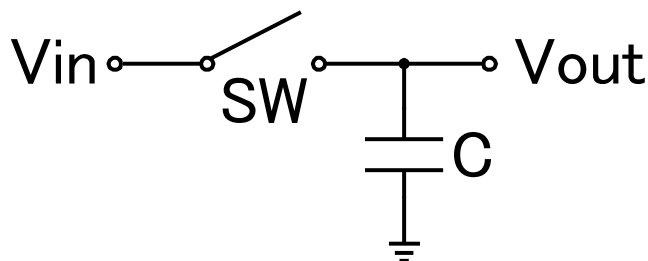
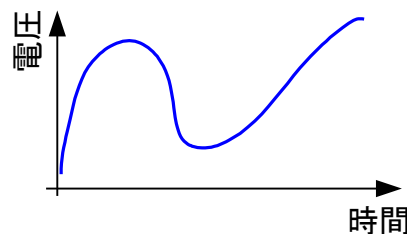
■ 現在別々に扱われている



問題設定

S/H回路の動作

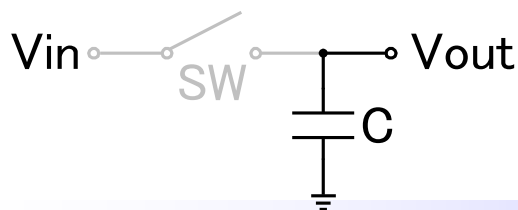
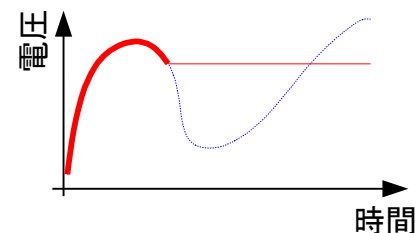
■ S/H回路の基本構成: スイッチと容量



• スイッチSWがONの時

• $V_{out}(t) = V_{in}(t)$

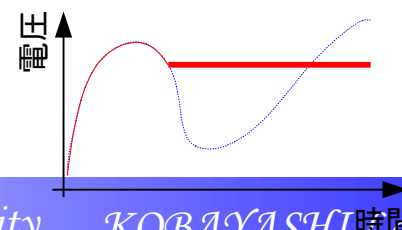
Sample動作



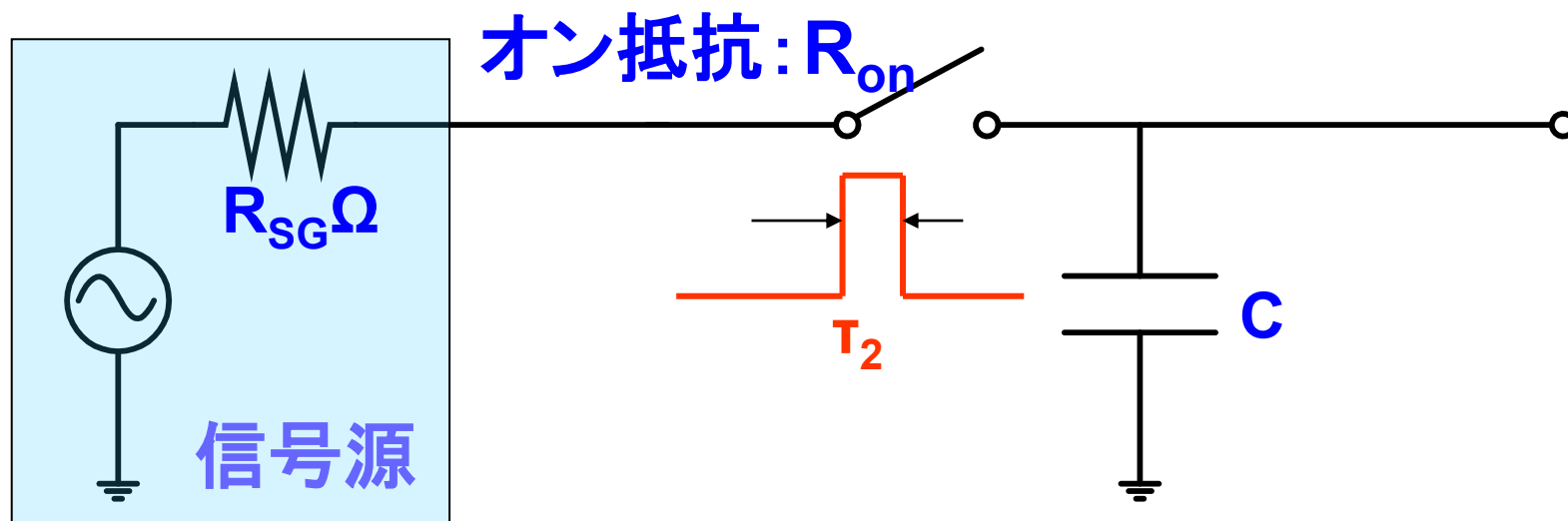
• スイッチSWがOFFの時

• $V_{out}(t) = V_{in}(t_{OFF})$

Hold動作



S/H回路での2つの時定数 τ_1 、 τ_2



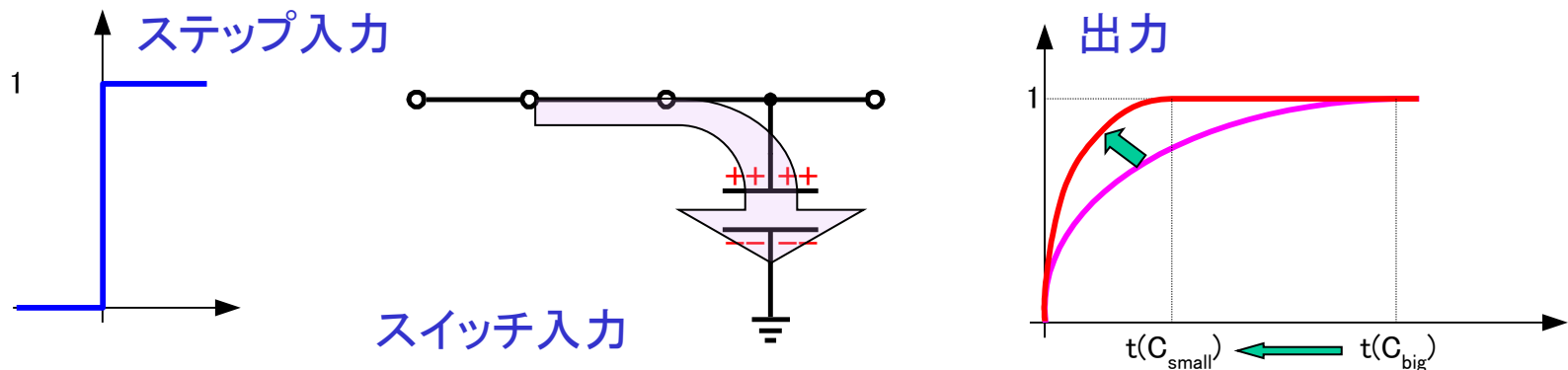
■ S/H回路の時定数

- τ_1 : 信号源の抵抗とスイッチのオン抵抗の合成抵抗と容量から構成される時定数 $((R_{on} + R_{SG}) \times C)$
- τ_2 : スイッチング時間窓

時定数 τ_1 (容量)の影響

■ 帯域

- 容量: 小 \Rightarrow 素早い充電が可能 (帯域: 広)



■ 熱雑音

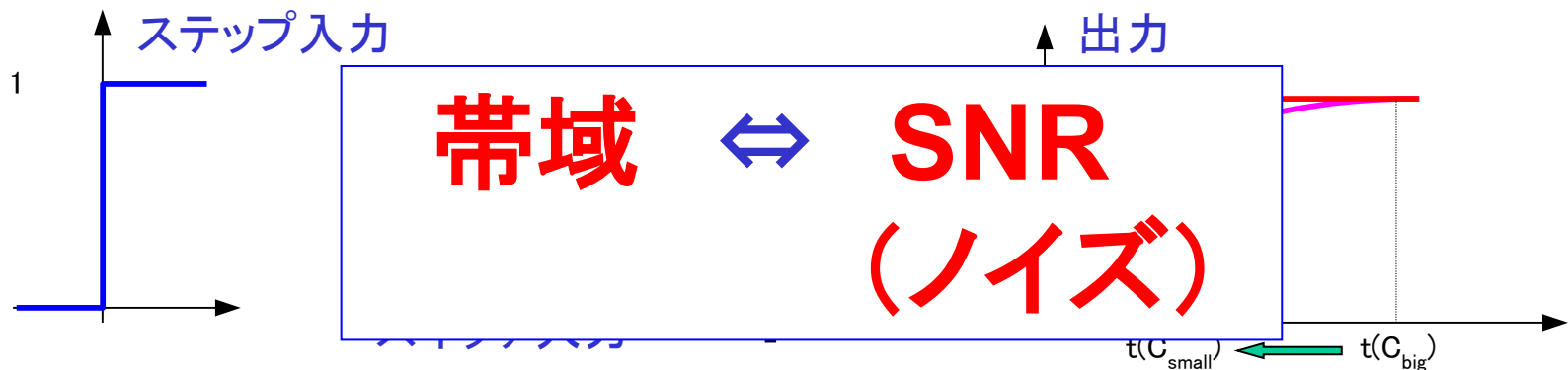
- 容量: 小 \Rightarrow ノイズ: 大

$$N_{rms} = \sqrt{\frac{kT}{C}}$$

時定数 τ_1 (容量) の影響

■ 帯域

- 容量: 小 \Rightarrow 素早い充電が可能 (帯域: 広)



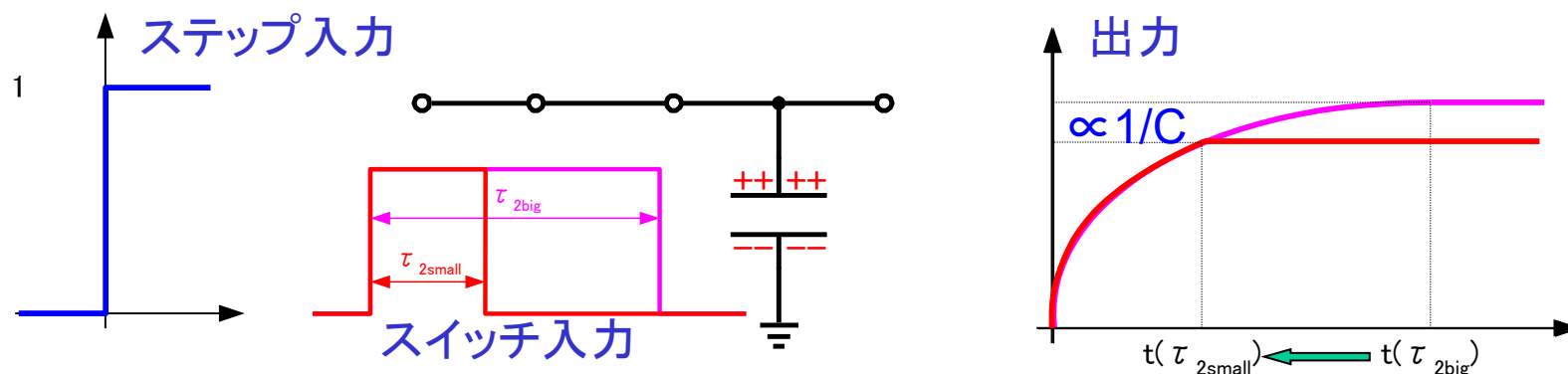
■ 熱雑音

- 容量: 小 \Rightarrow ノイズ: 大 $N_{rms} = \sqrt{\frac{kT}{C}}$

サンプリング時間窓 τ_2 の影響

■ 帯域

– パルス幅: 短 \Rightarrow 出力: 素早く定まる (帯域: 広)



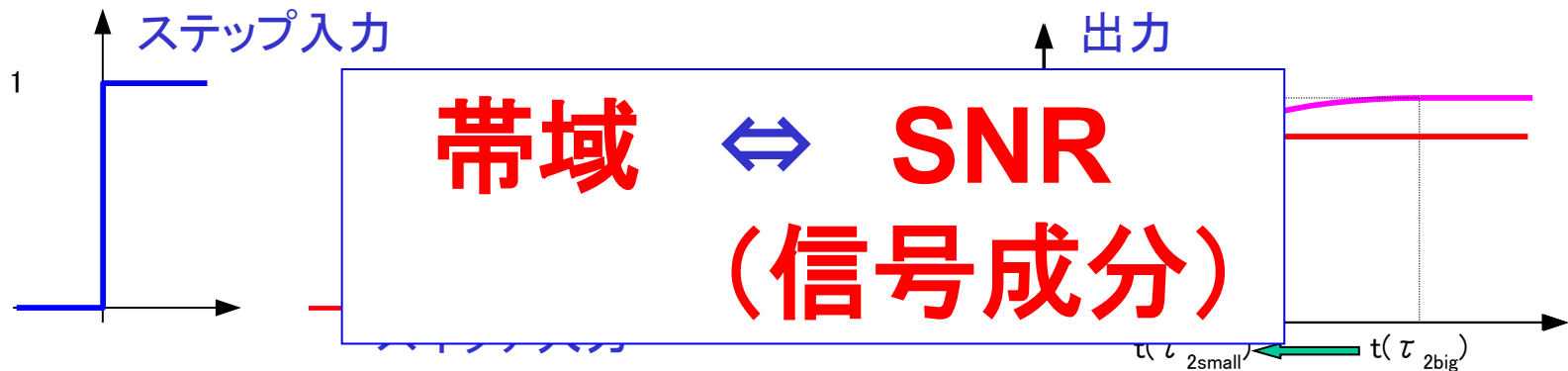
■ 信号成分

– パルス幅: 短 \Rightarrow 信号成分: 小 $Signal \propto \frac{1}{C}$

サンプリング時間窓 τ_2 の影響

■ 帯域

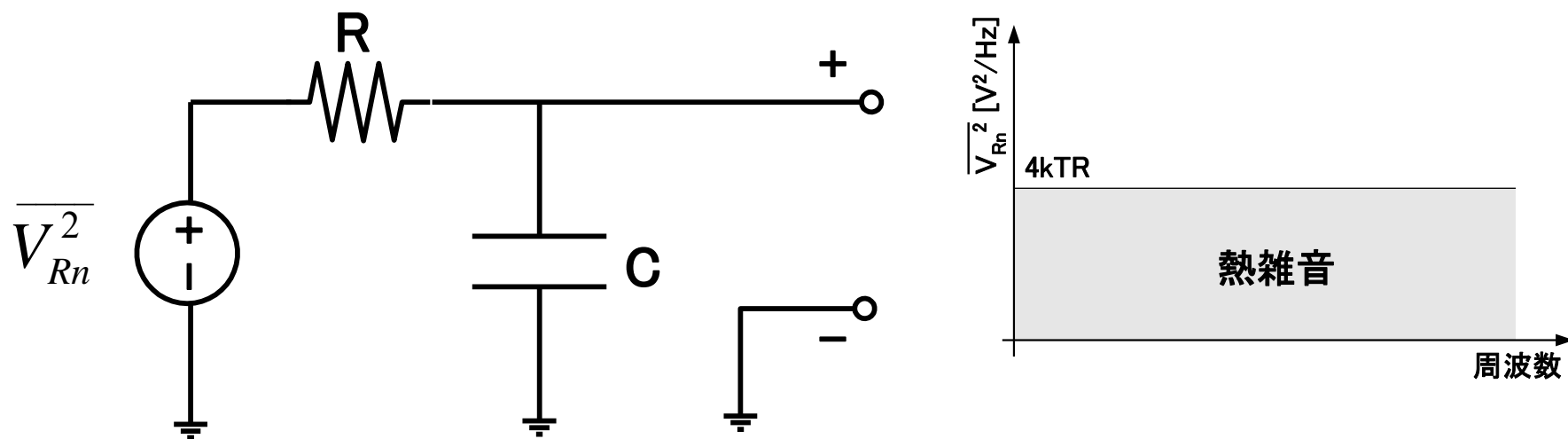
- パルス幅: 短 \Rightarrow 出力: 素早く定まる (帯域: 広)



■ 信号成分

- パルス幅: 短 \Rightarrow 信号成分: 小 $Signal \propto \frac{1}{C}$

S/H回路での出力熱雑音

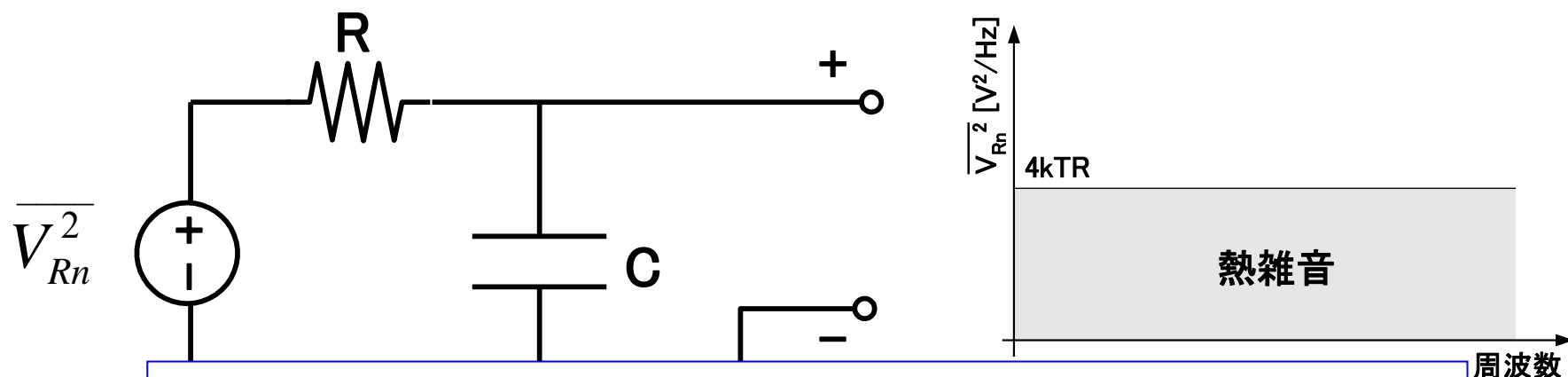


雑音パワー

$$P_{n,out} = \int_0^{\infty} \frac{4kTR}{4\pi^2 R^2 C^2 f^2 + 1} df$$

$$= \frac{kT}{C}$$

S/H回路での出力熱雑音



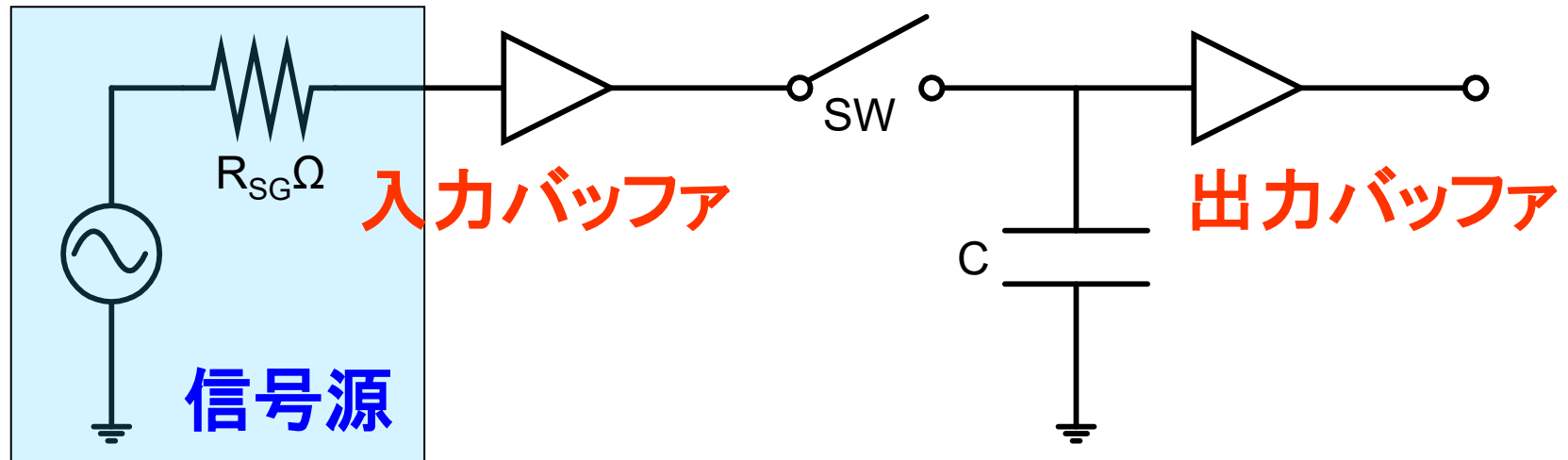
広帯域化 ⇒ **C:小** → **P_{noise}:大**

雑音パワー

$$P_{n,out} = \int_0^{\infty} \frac{4kTR}{4\pi^2 R^2 C^2 f^2 + 1} df$$

$$= \frac{kT}{C}$$

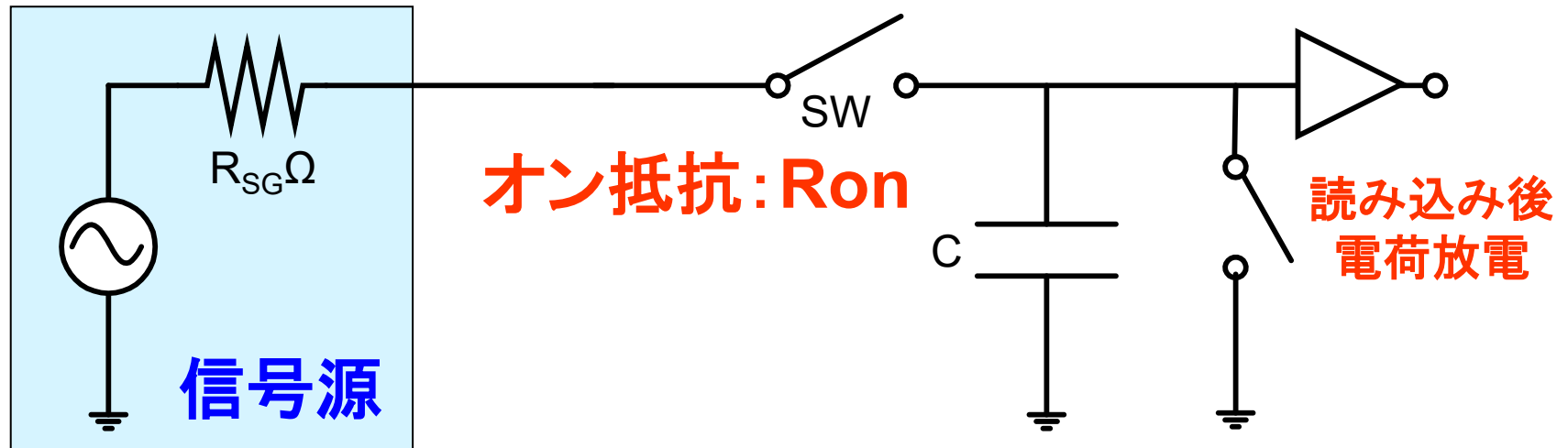
S/H回路の広帯域化



■ 広帯域化(高周波数化)

⇒ 入力バッファ実現困難

S/H回路の広帯域化



■ 広帯域化(高周波数化)

⇒ 入力バッファ実現困難

⇒ 入力バッファを除いた構成

広帯域信号サンプリング技術の問題設定

■ S/Hの帯域とSNR:トレードオフ

- RC時定数 τ_1
- サンプリング時間窓 τ_2
 - トラックホールドサンプリング: $\tau_1 \ll \tau_2$
 $\Rightarrow \text{SNR} \propto \sqrt{C}$ 、 $\omega_{\text{BW}} = 1/RC$
 - インパルスサンプリング: $\tau_1 \gg \tau_2$
 $\Rightarrow \text{SNR} \propto 1/\sqrt{C}$ 、 $\omega_{\text{BW}}: \tau_2$ に依存

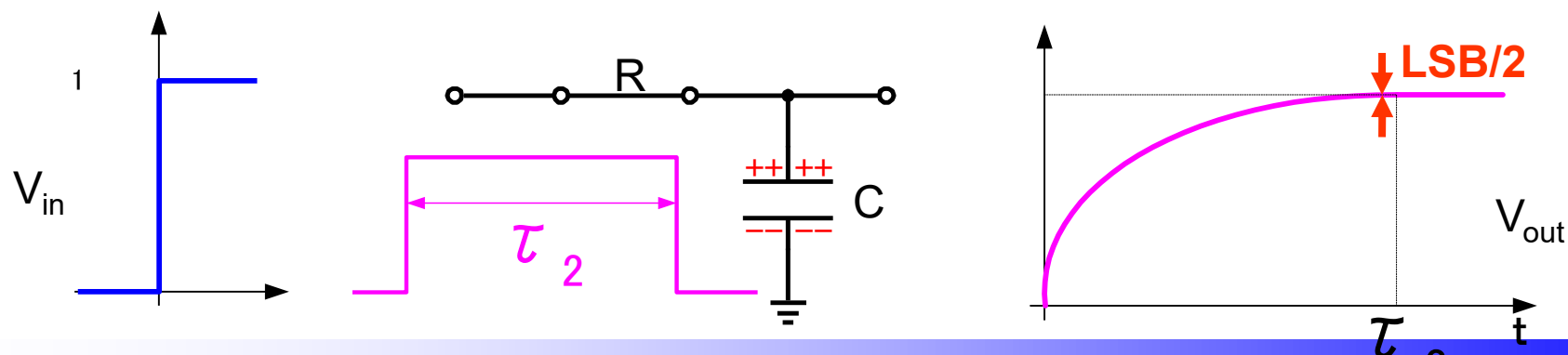
■ ある帯域 f_{BW} のS/H回路を実現する SNRを最大にする $\Rightarrow \tau_{1\text{opt}}$ 、 $\tau_{2\text{opt}}$ を求める

C: サンプリング容量 R: スイッチと信号源の合成抵抗 $\tau_1 = RC$

2つのS/H回路

トラックホールド回路 $\tau_2 \gg \tau_1$

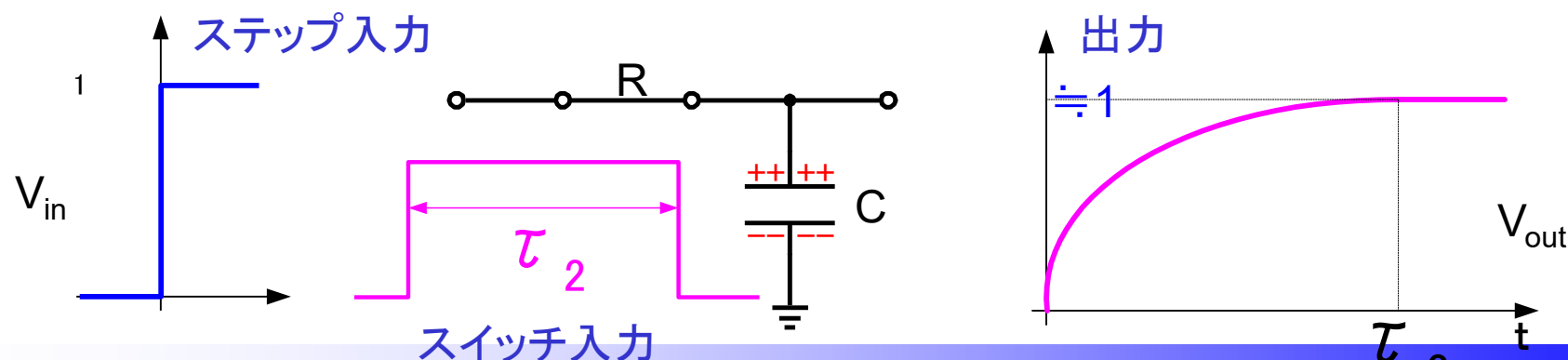
- SoC上のADCに使用
- サンプリング定理
- 単発信号測定可能
- 高周波数信号⇒高速サンプリング必要
- 入出力差がLSB/2になるまでトラック



トラックホールド回路の動作

■ スイッチ時間窓 $\tau_2 \gg \tau_1$

- 容量に対して十分充電可能
 \Rightarrow 出力信号成分: $S \doteq 1$ 、
 出力雑音成分: $N_{\text{rms}} = \sqrt{kT/C}$
- SNR: $SNR \propto \sqrt{C}$
- 帯域: $\omega_{\text{BW}} = 1/RC$



トラックホールド回路の伝達関数

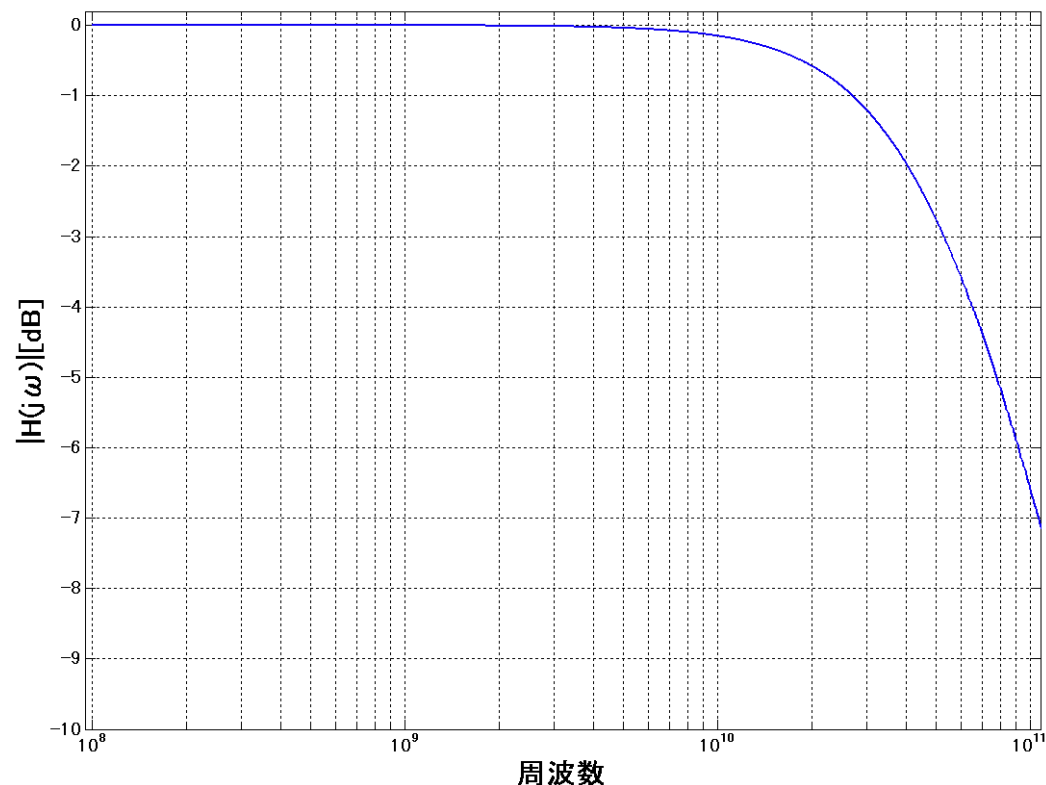
伝達関数

$$H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\tau_1\omega}$$

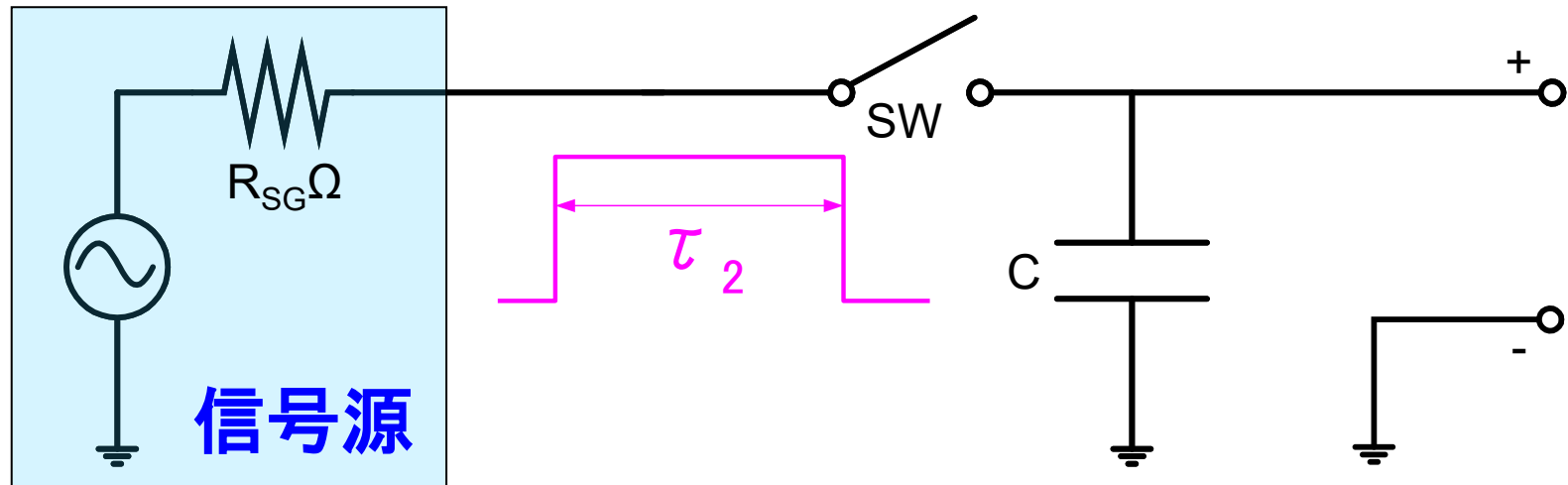
ゲイン

$$|H(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \tau_1^2\omega^2}}$$

ゲイン特性



トラックホールドの広帯域化

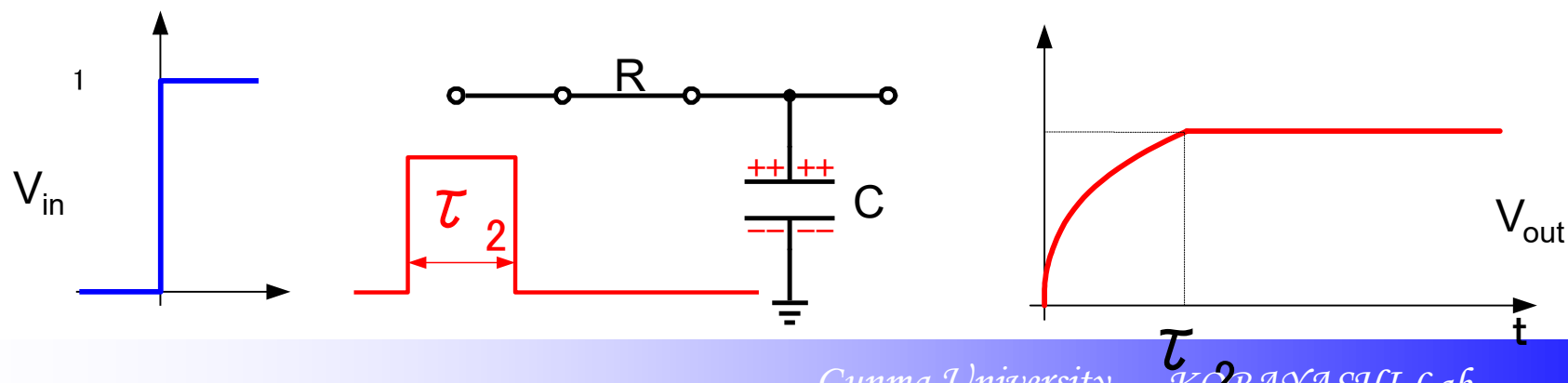


トラックホールド動作の問題点

- 信号源からインピーダンスCが見える
(高周波信号が反射)
- 帯域: $1/(R_{SG} + R_{on})C \Leftrightarrow \text{SNR} \propto \sqrt{C}$

インパルスサンプリング回路 $\tau_2 \ll \tau_1$

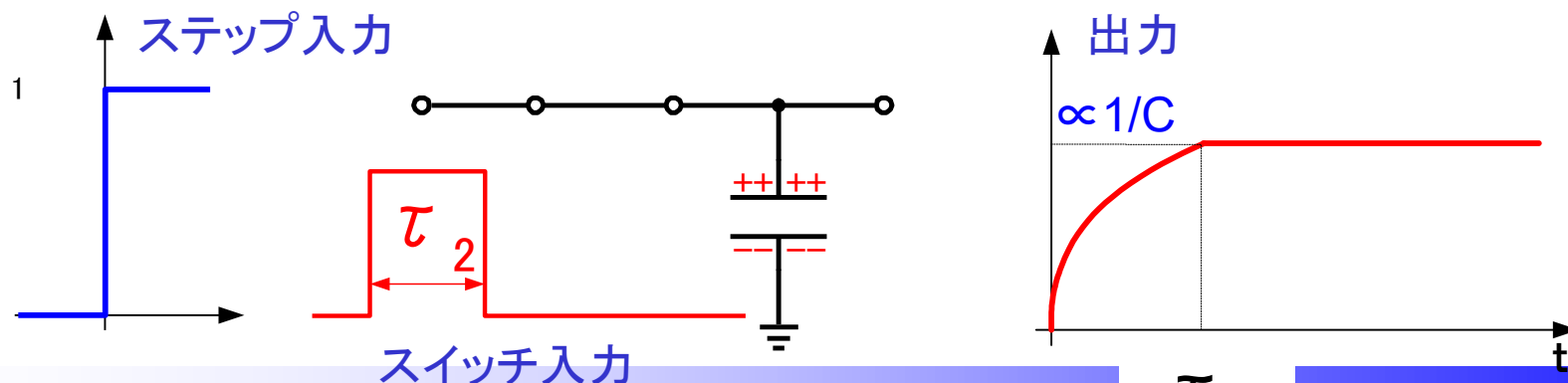
- サンプリング・オシロスコープに使用
- 等価時間サンプリング
- 繰り返し生起する信号
- 高周波信号 \Rightarrow スイッチング時間窓 $\tau_2 \rightarrow$ 小
- 信号源へのCの影響を減らすため τ_2 小



インパルスサンプリング回路の動作

■ スイッチパルス幅 $\tau_2 \ll \tau_1$

- 容量に対して十分充電できない
 \Rightarrow 出力信号成分: $S \propto 1/C$ 、
 出力雑音成分: $N_{\text{rms}} = \sqrt{kT/C}$
- SNR: $SNR \propto \frac{1}{\sqrt{C}}$
- 帯域: ω_{BW} は τ_2 に大きく依存



インパルスサンプリング回路の伝達関数

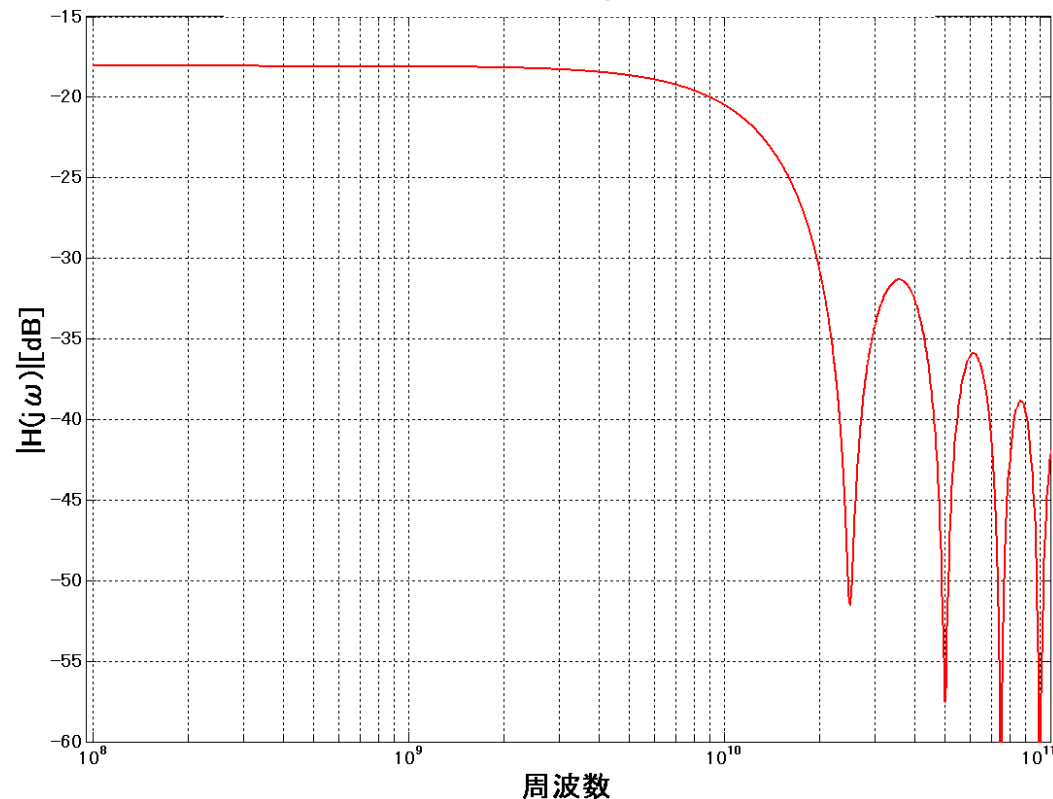
伝達関数

$$H(j\omega) = \frac{\tau_2}{\tau_1} \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega\tau_2}{2}\right) e^{-j\frac{\tau_2}{2}\omega}$$

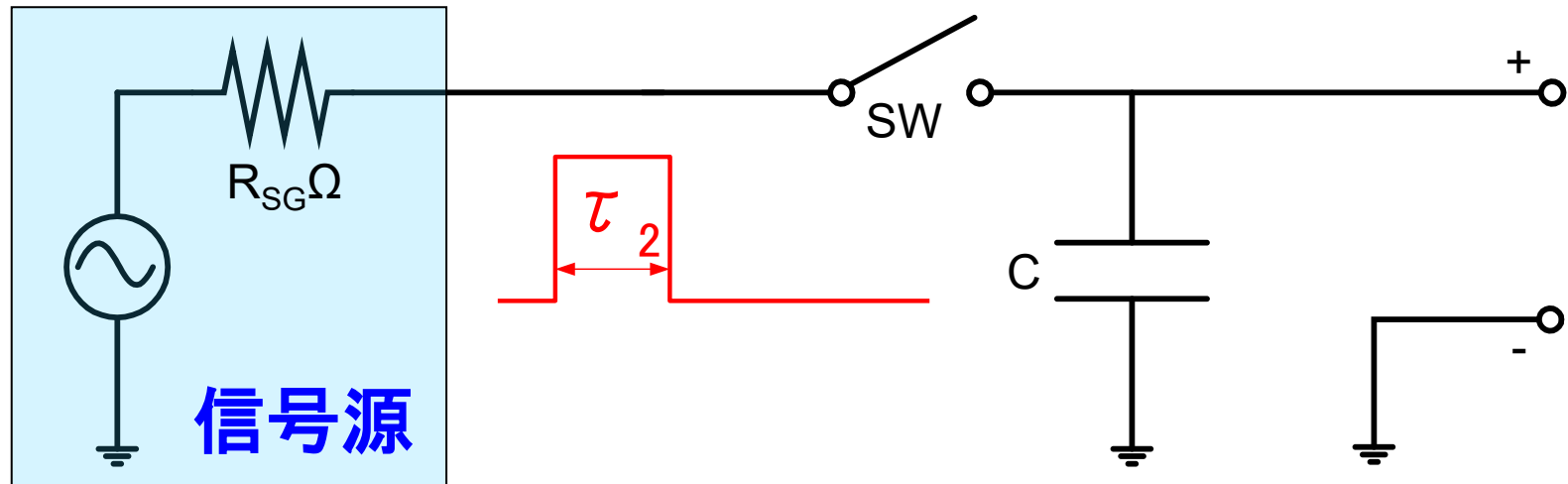
ゲイン

$$|H(j\omega)| = \frac{\tau_2}{\tau_1} \left| \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega\tau_2}{2}\right) \right|$$

ゲイン特性



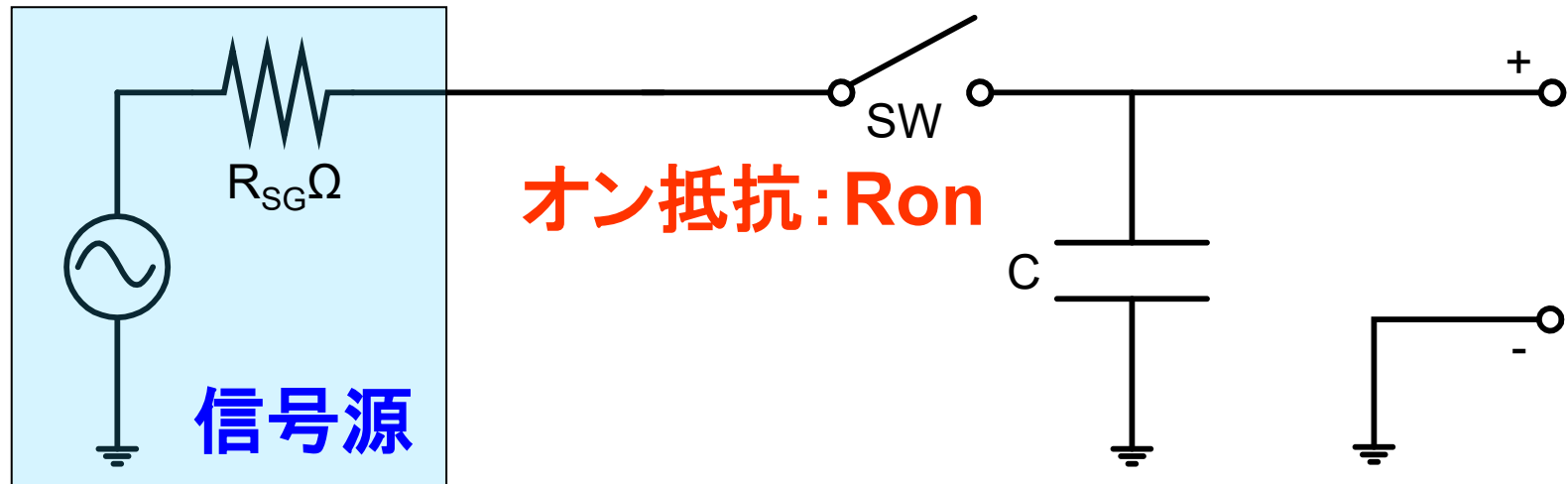
インパルスサンプリングの広帯域化



インパルスサンプリング動作の問題点

- 帯域 \rightarrow 広 $\Leftrightarrow \tau_2 \rightarrow$ 小
 \Rightarrow 技術的に難、信号レベル小
- 出力信号レベル $\propto 1/C \Rightarrow$ SNR劣化

広帯域化への問題



■ 広帯域、高SNRを実現

⇒ **トラックホールド回路** $T_2 \gg T_1$ どちらも難しい
インパルスサンプリング回路 $T_2 \ll T_1$

中間領域に最適解が有ることを示す

⇒「**ストローブサンプリング技術** $T_2 \doteq T_1$ 」を提案

広帯域信号サンプリング技術の問題設定

- ある帯域 f_{BW} をもつS/H回路を実現する。
このとき、SNRを最大にする

T_{1opt} 、 T_{2opt} を求める



- 非線形最適化問題
 - 理論式を導出し、数値計算
 - SPICEで回路シミュレーション

C: サンプリング容量 R: スイッチと信号源の合成抵抗 $\tau_1 = RC$

T/H回路、インパルスサンプリング 回路を統一した理論

統一したS/H回路の周波数伝達関数

■ 周波数伝達関数

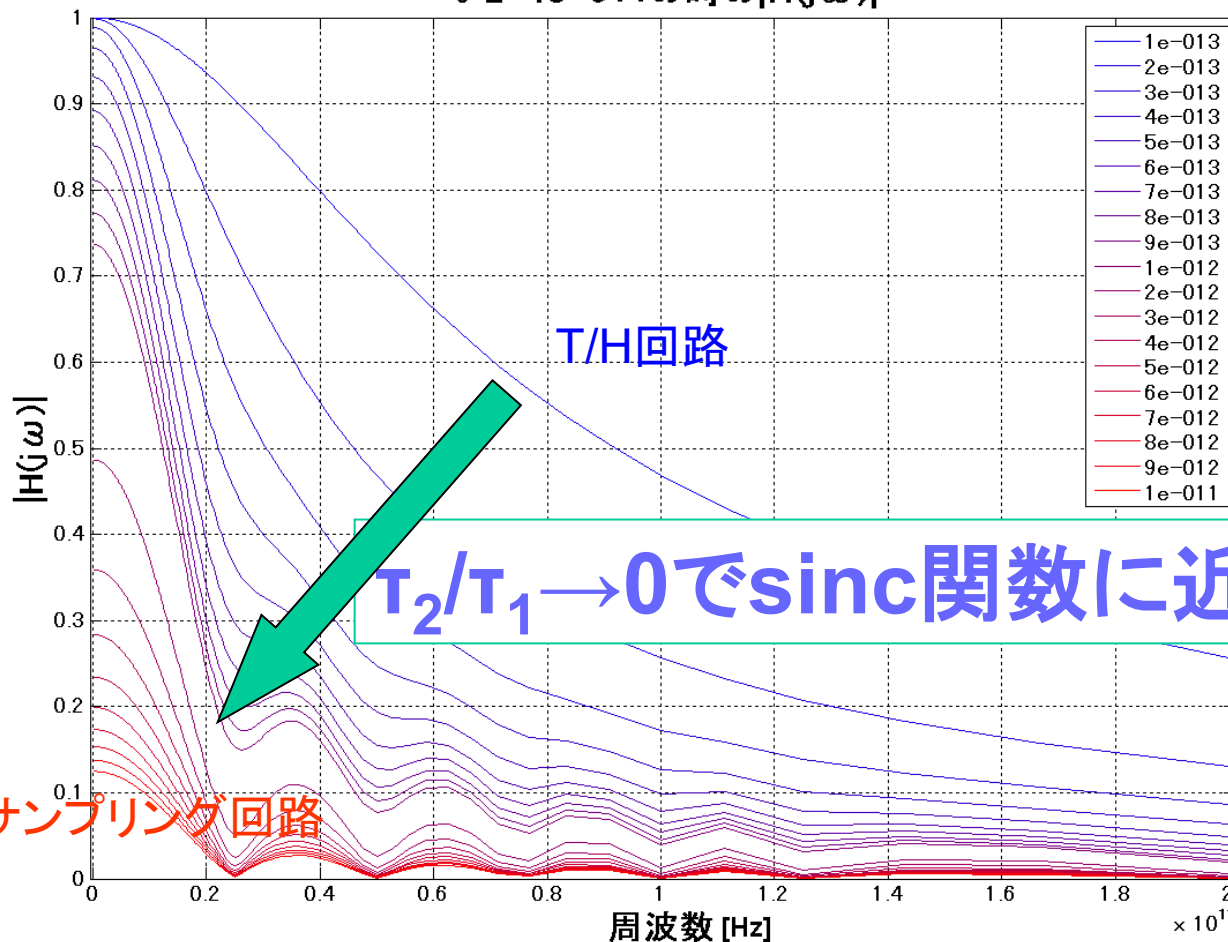
$$H(s) = -\frac{1}{1 + \tau_1 s} \left(e^{-\left(\frac{1}{\tau_1} + s\right)\tau_2} - 1 \right)$$

■ ゲイン特性

$$\begin{aligned} |H(j\omega)| &= \left| \frac{1}{1 + j\omega\tau_1} \left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}(1 + j\omega\tau_1)} \right) \right| \\ &= \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2\tau_1^2}} \sqrt{\left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}} \cos(\omega\tau_2) \right)^2 + \left(-e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}} \sin(\omega\tau_2) \right)^2} \\ H(j\omega)|_{\omega=0} &= 1 - e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}} \end{aligned}$$

統一したS/H回路のゲイン特性

$\tau_2 = 4e-011$ の時の $|H(j\omega)|$



統一S/H回路の周波数伝達関数の極限

$$H(s) = -\frac{1}{1 + \tau_1 s} \left(e^{-\left(\frac{1}{\tau_1} + s\right)\tau_2} - 1 \right)$$

■ $\tau_2/\tau_1 \rightarrow \infty$

(T/H回路)

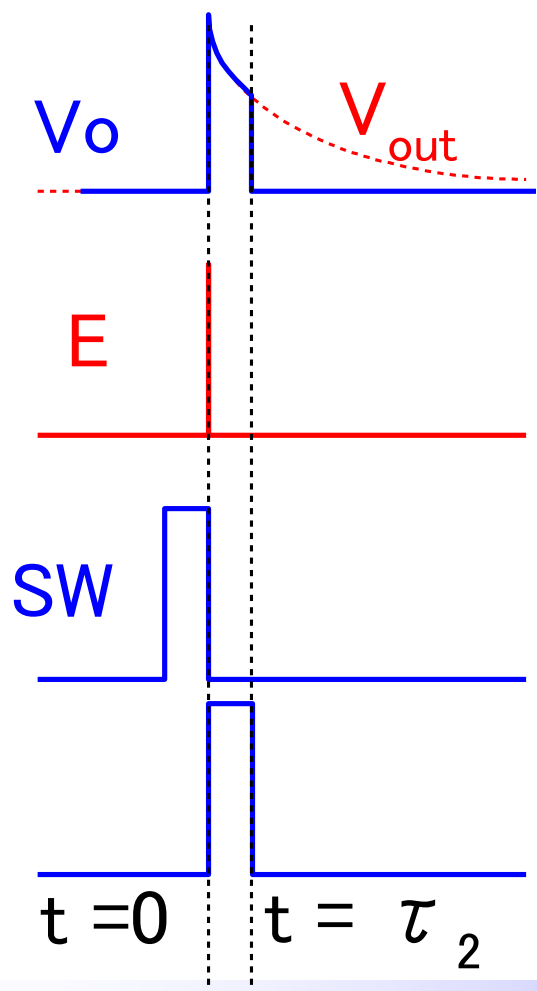
$$\lim_{\frac{\tau_2}{\tau_1} \rightarrow \infty} H(j\omega) = \frac{1}{1 + j\tau_1\omega}$$

■ $\tau_2/\tau_1 \rightarrow 0$

(インパルスサンプリング回路)

$$\lim_{\tau_1\omega \gg 1, \frac{\tau_2}{\tau_1} \rightarrow 0} H(j\omega) = \frac{\tau_2}{\tau_1} \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega\tau_2}{2}\right) e^{-j\frac{\tau_2}{2}\omega}$$

統一S/H回路のインパルス応答



■ $t < 0$

$$V_o = 0$$

■ $0 \leq t < \tau_2$

$$V_o = e^{-t/RC} / RC$$

■ $t \geq \tau_2$

$$V_o = 0$$

帯域の計算(1)

伝達関数より

■ 帯域 ω_{BW} : $|H(j\omega_{BW})| = \frac{1}{\sqrt{2}}|H(j0)|$ 厳密式

$$\frac{1}{\sqrt{1 + \omega_{BW}^2 C^2 R^2}} \sqrt{\left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{CR}} \cos(\omega_{BW} \tau_2)\right)^2 + \left(-e^{-\frac{\tau_2}{CR}} \sin(\omega_{BW} \tau_2)\right)^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{CR}}\right)$$



解析的に解くのは困難
⇒ 数値計算で ω_{BW} を求める。

帯域の計算(2)

ステップ応答立ち上がり時間より

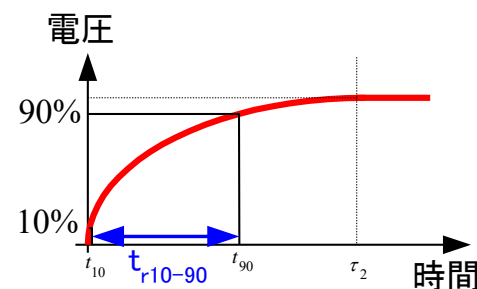
- RC直列回路の帯域: $RC(1/\omega_{BW} = 1/2\pi f_{BW})$ 出力が最大値の10%から90%となる時間 t_{r10-90} から帯域 RC_{est} を推定

$$t_{V_{out90\%}} = -(RC)_{est} \log_e 0.1$$

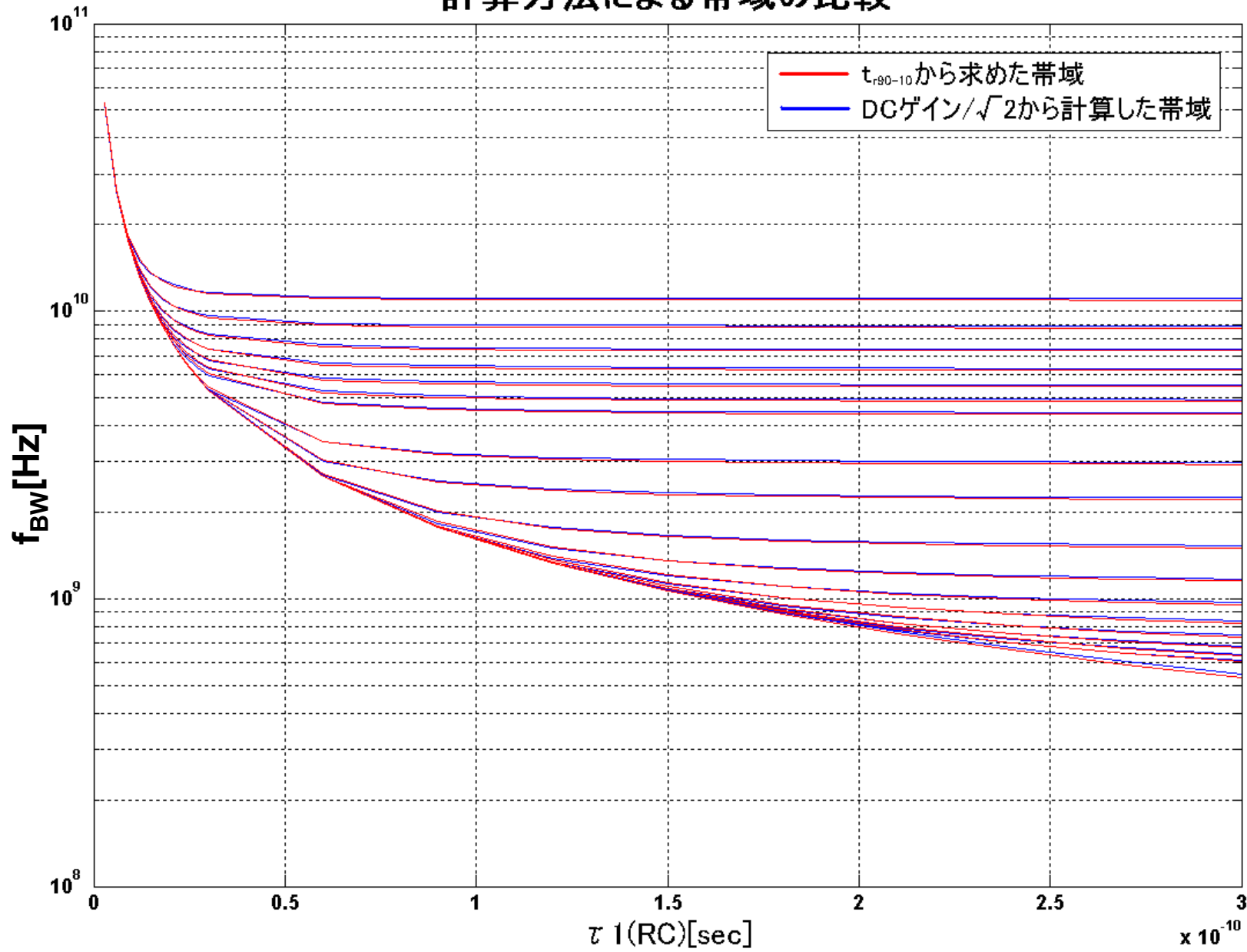
$$t_{V_{out10\%}} = -(RC)_{est} \log_e 0.9$$

$$t_{r10-90} = t_{V_{out90\%}} - t_{V_{out10\%}} = (RC)_{est} \log_e \frac{0.9}{0.1}$$

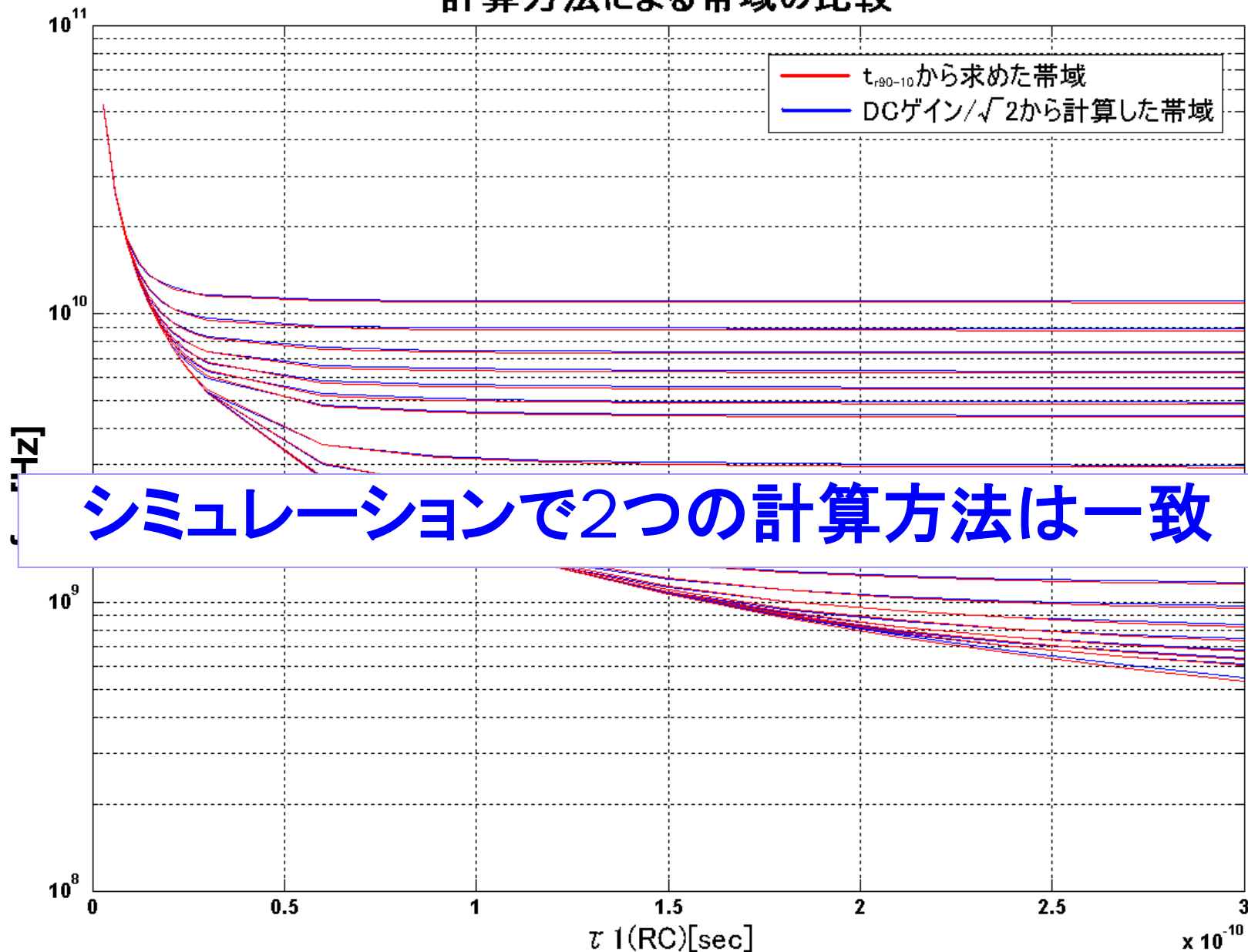
$$\text{近似式: } RC_{est} = t_{r10-90} \div 2.1972$$



計算方法による帯域の比較

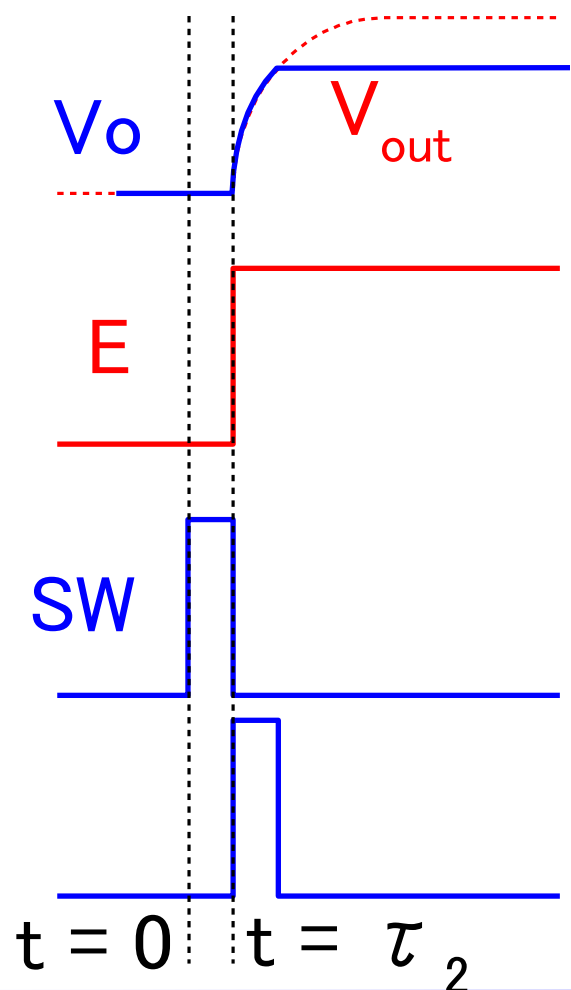


計算方法による帯域の比較



シミュレーションで2つの計算方法は一一致

統一S/H回路のステップ応答



■ $t < 0$

$$V_o = 0$$

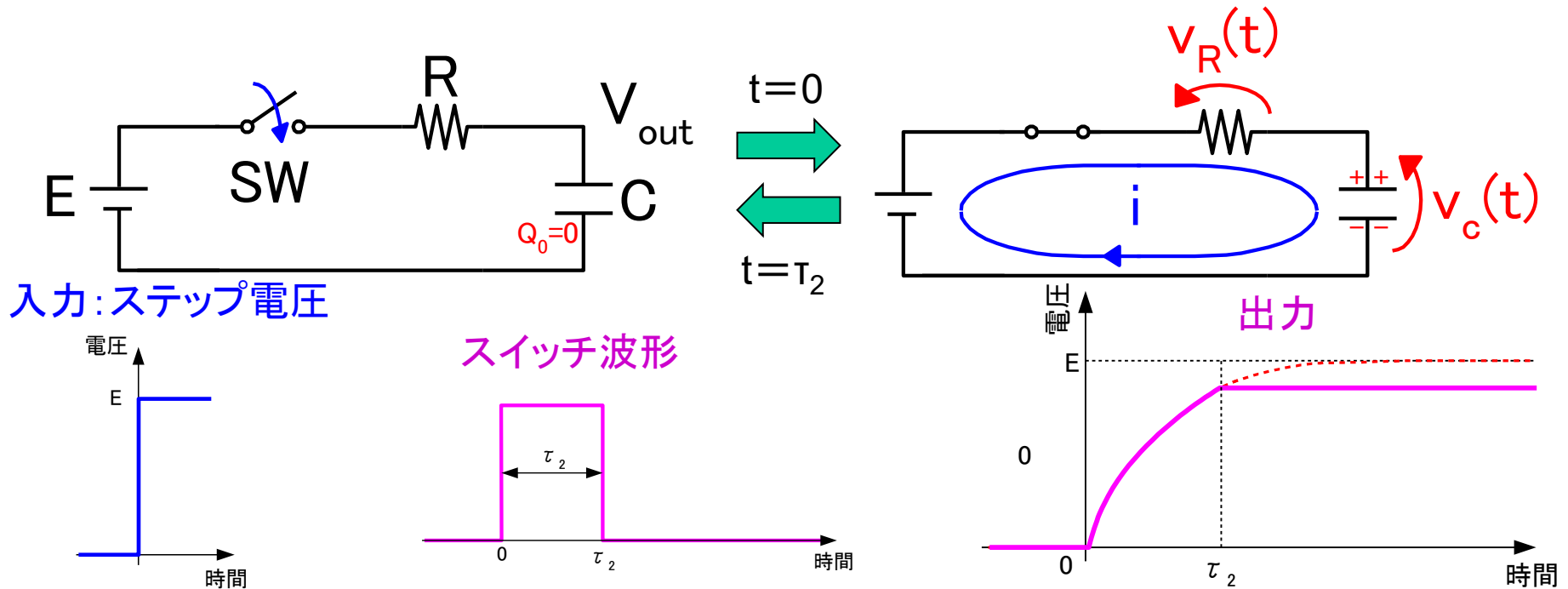
■ $0 \leq t < \tau_2$

$$V_o = 1 - e^{-(t+\tau_2)/RC}$$

■ $t \geq \tau_2$

$$V_o = 1 - e^{-\tau_2/RC}$$

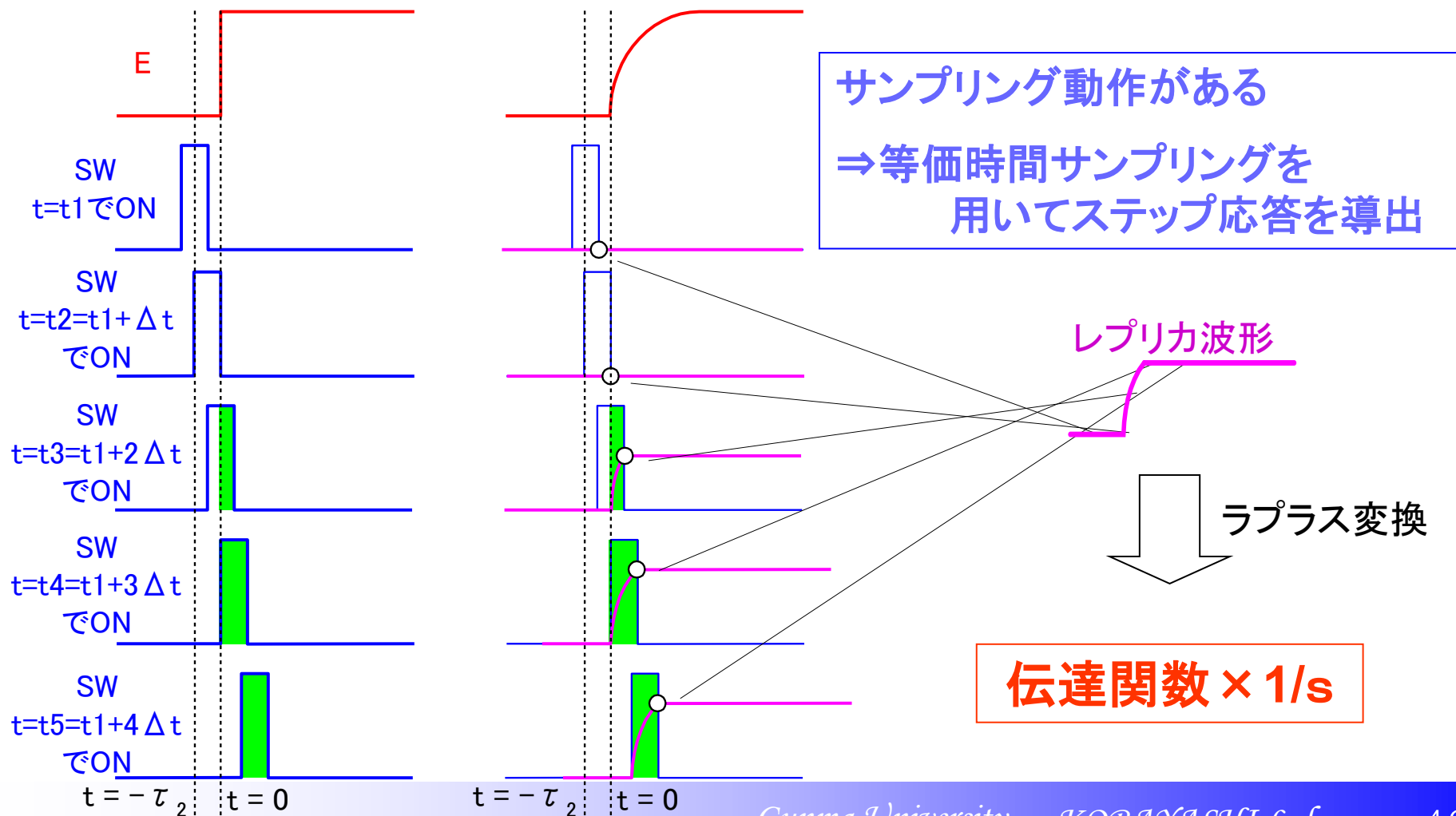
S/H回路のステップ応答



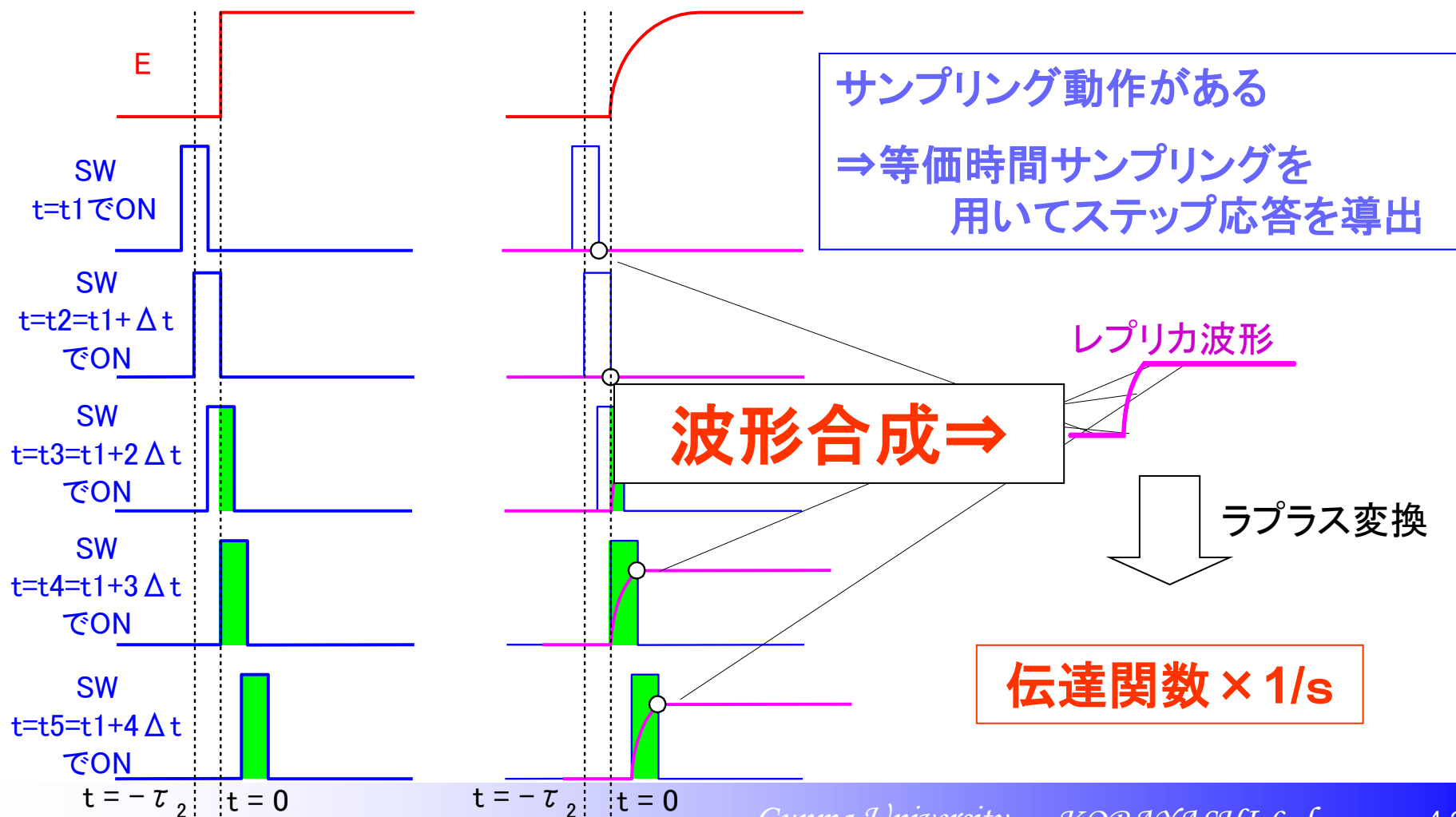
■ E : ステップ入力、スイッチSWを τ_2 閉じる

■ SWが閉じている時の出力: $V_{out}(t) = CV(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right)$

等価時間サンプリングでステップ応答を得る



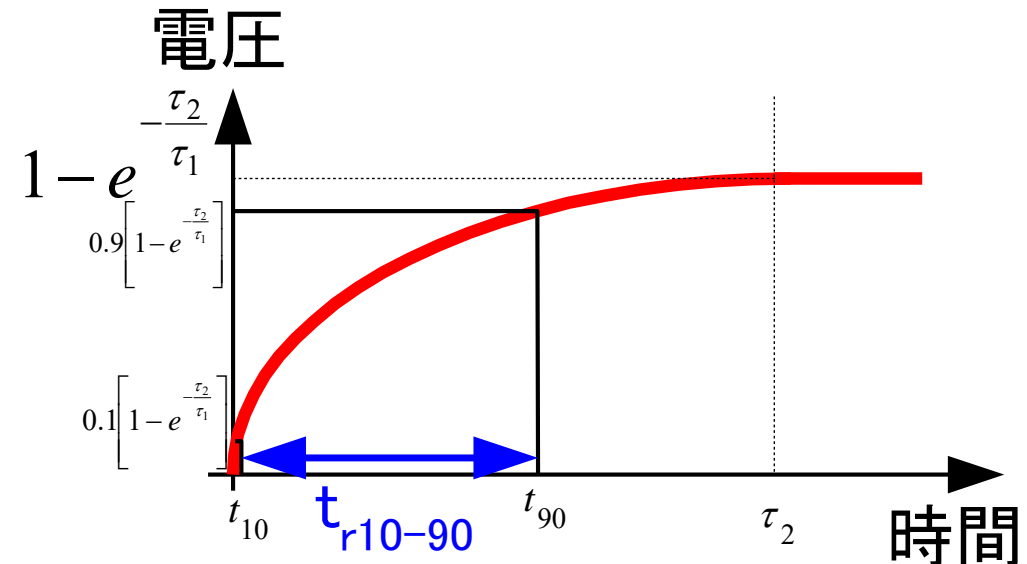
等価時間サンプリングでステップ応答を得る



立ち上がり時間からの帯域推定

単位ステップ応答 $s(t)$

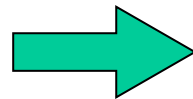
$$s(t) = \begin{cases} 0 & (t < 0) \\ 1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} & (0 \leq t < \tau_2) \\ 1 - e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}} & (\tau_2 \leq t) \end{cases}$$



■ 一次系を仮定し、 t_{r10-90} から RC_{est} を推定

$$t_{10} \Rightarrow 1 - e^{-\frac{t_{10}}{\tau_1}} = 0.1 \left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}} \right)$$

$$t_{90} \Rightarrow 1 - e^{-\frac{t_{90}}{\tau_1}} = 0.9 \left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}} \right)$$



$$t_{r10-90} = \tau_1 \ln \frac{0.9 + 0.1e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}}}{0.1 + 0.9e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}}}$$

$$RC_{est} \cong \frac{t_{r10-90}}{2.1972}$$

統一S/H回路のSNR

■ 熱雑音 : $E_{noise} = \sqrt{\frac{kT}{C}}$ (k :ボルツマン定数、 T :温度)

■ 信号成分: $E_{signal} = 1 - e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}}$

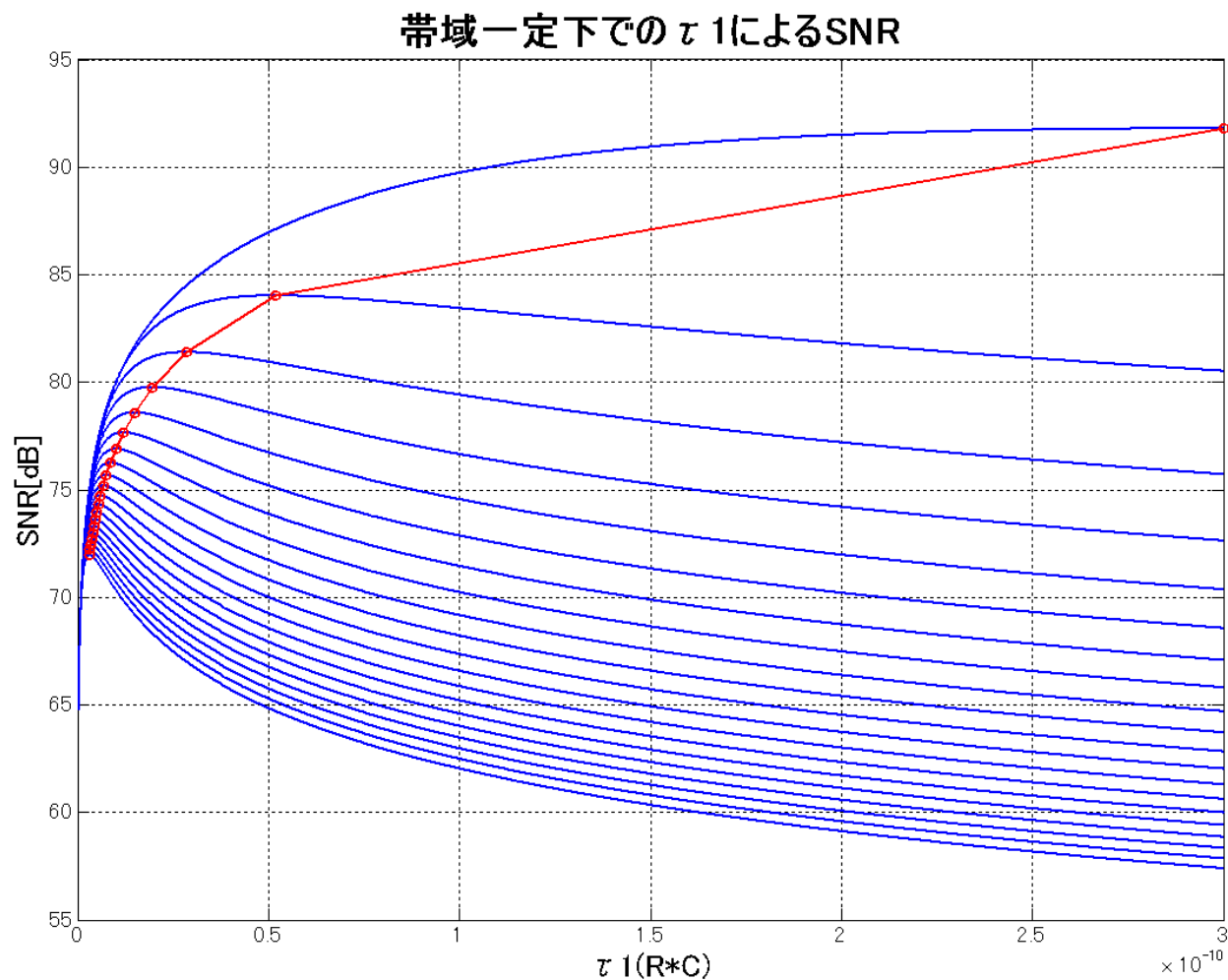
■ SNR: $SNR = \frac{E_{signal}}{E_{noise}} = \frac{1}{\sqrt{kTR}} \sqrt{\tau_1} \left(1 - e^{-\frac{\tau_2}{\tau_1}} \right)$

$$SNR = 10 \frac{1}{\sqrt{kTR}} \sqrt{\tau_1} 10^{\frac{t_{r10-90}}{\tau_1}} \frac{1 - e^{-\frac{t_{r10-90}}{\tau_1}}}{1 - 9e^{-\frac{t_{r10-90}}{\tau_1}}}$$

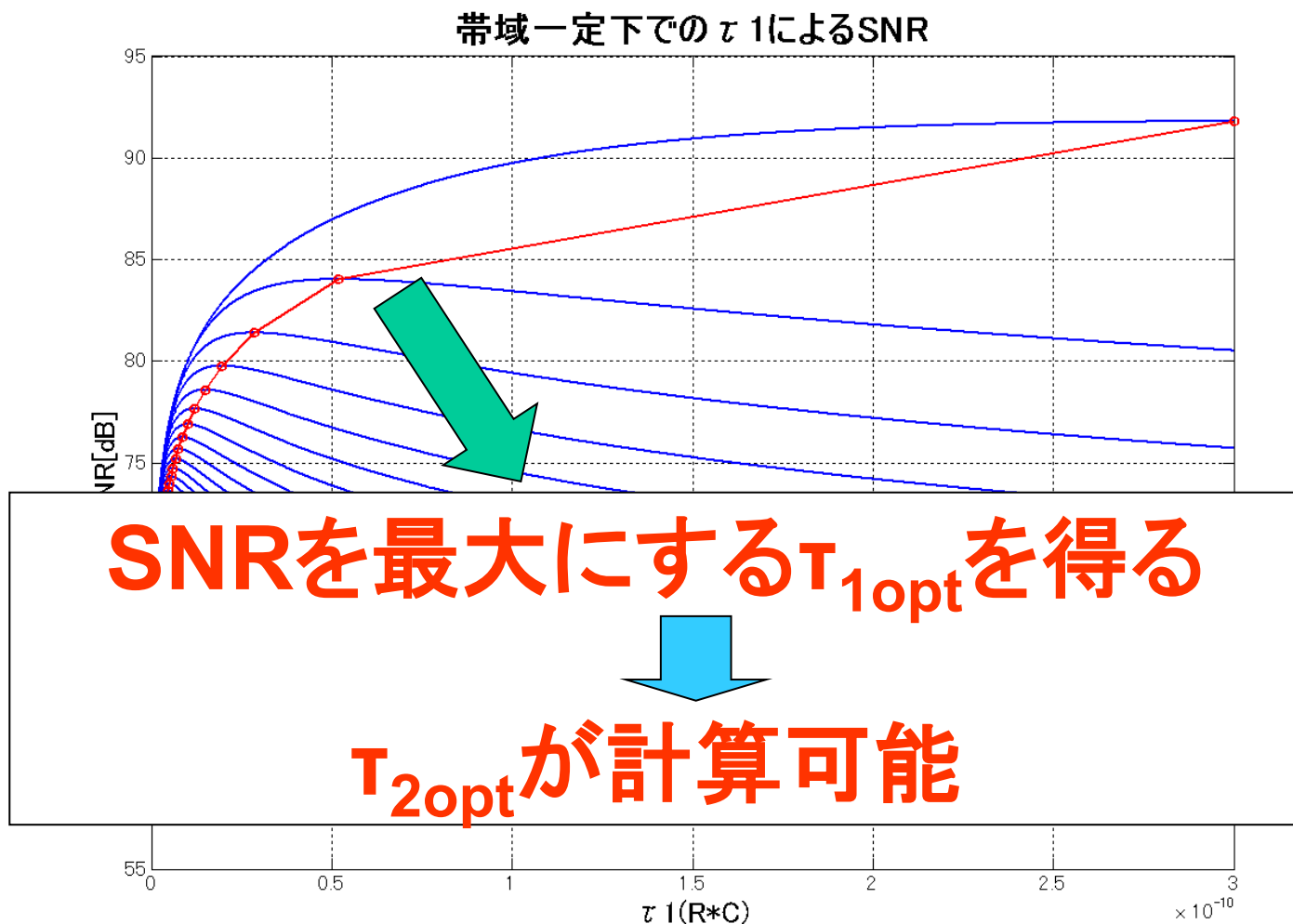
$$RC_{est} \cong \frac{t_{r10-90}}{2.1972}$$

■ f_{BW} :一定 $\Rightarrow t_{r10-90} = 0.35 f_{BW}$:一定
 $\Rightarrow \tau_1$ を振りSNRを数値計算

帯域一定下の τ_1 によるSNR

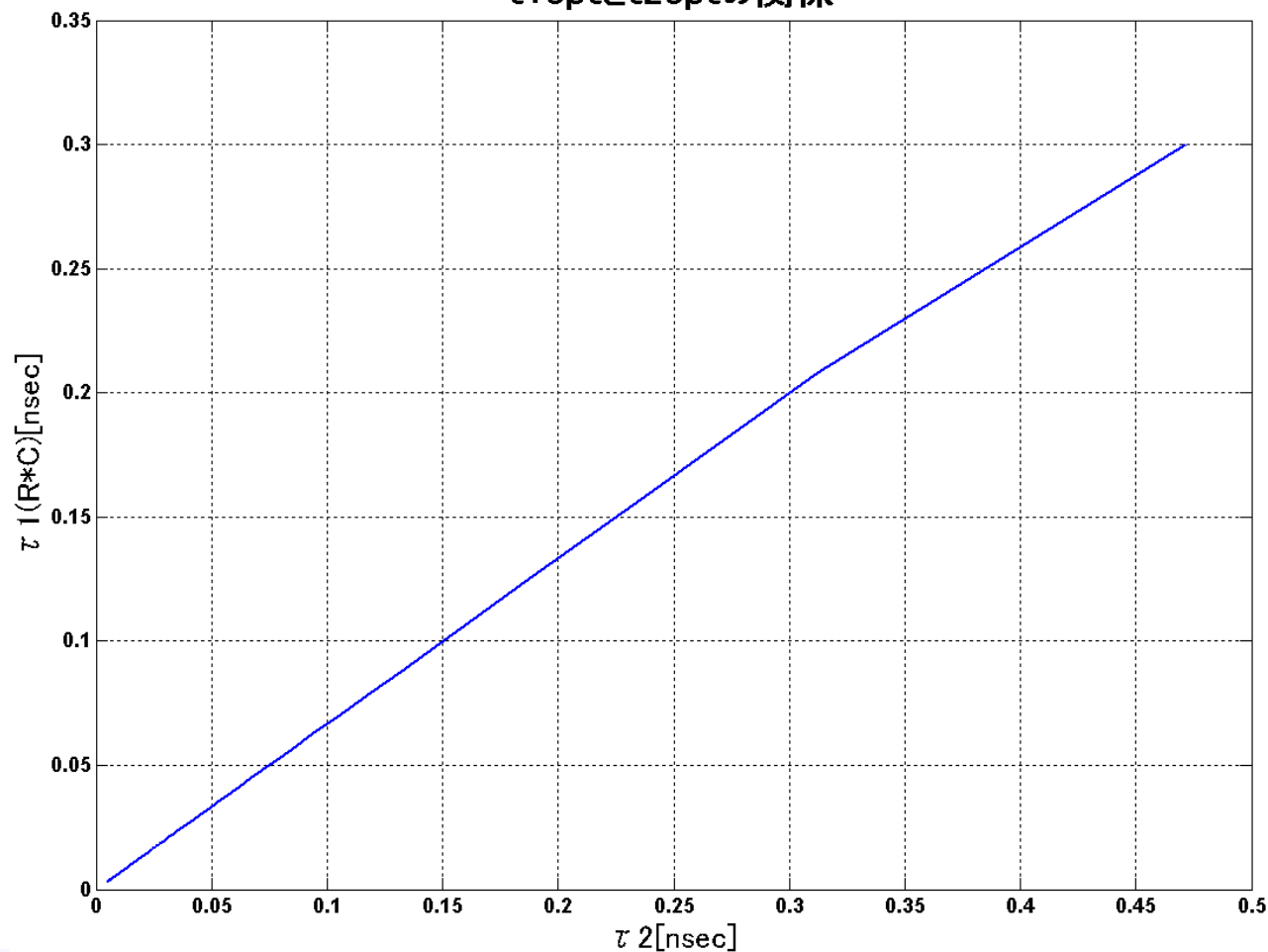


帯域一定下の τ_1 によるSNR



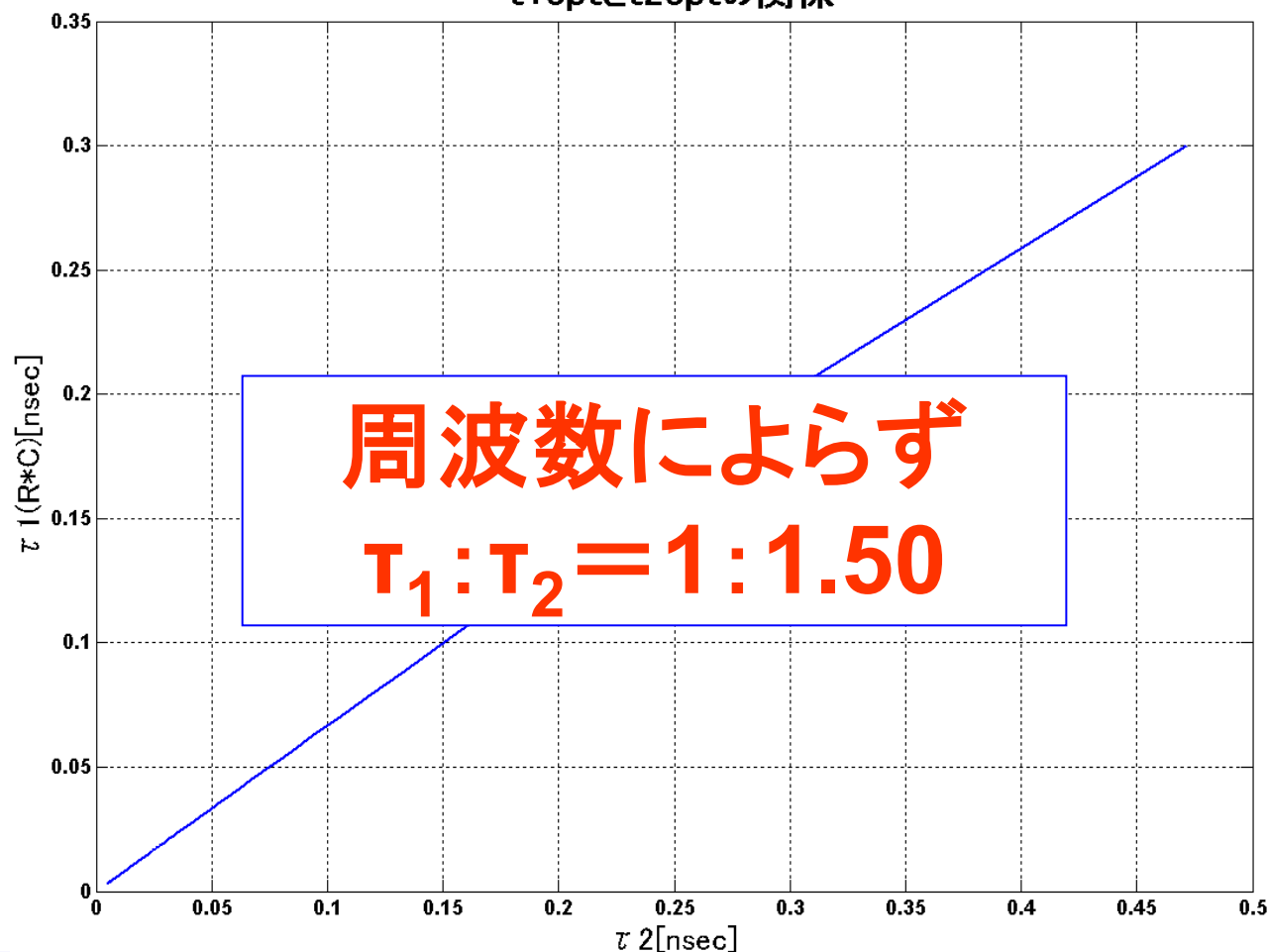
τ_{1opt} と τ_{2opt} の関係

τ_{1opt} と τ_{2opt} の関係



T_{1opt} と T_{2opt} の関係

t_{1opt} と t_{2opt} の関係

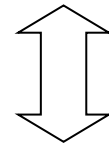


エネルギーの観点からの

T_{1opt} と T_{2opt}

■ 帯域一定下で

SNRを最大



等価

ホールド容量に蓄えるエネルギーを最大

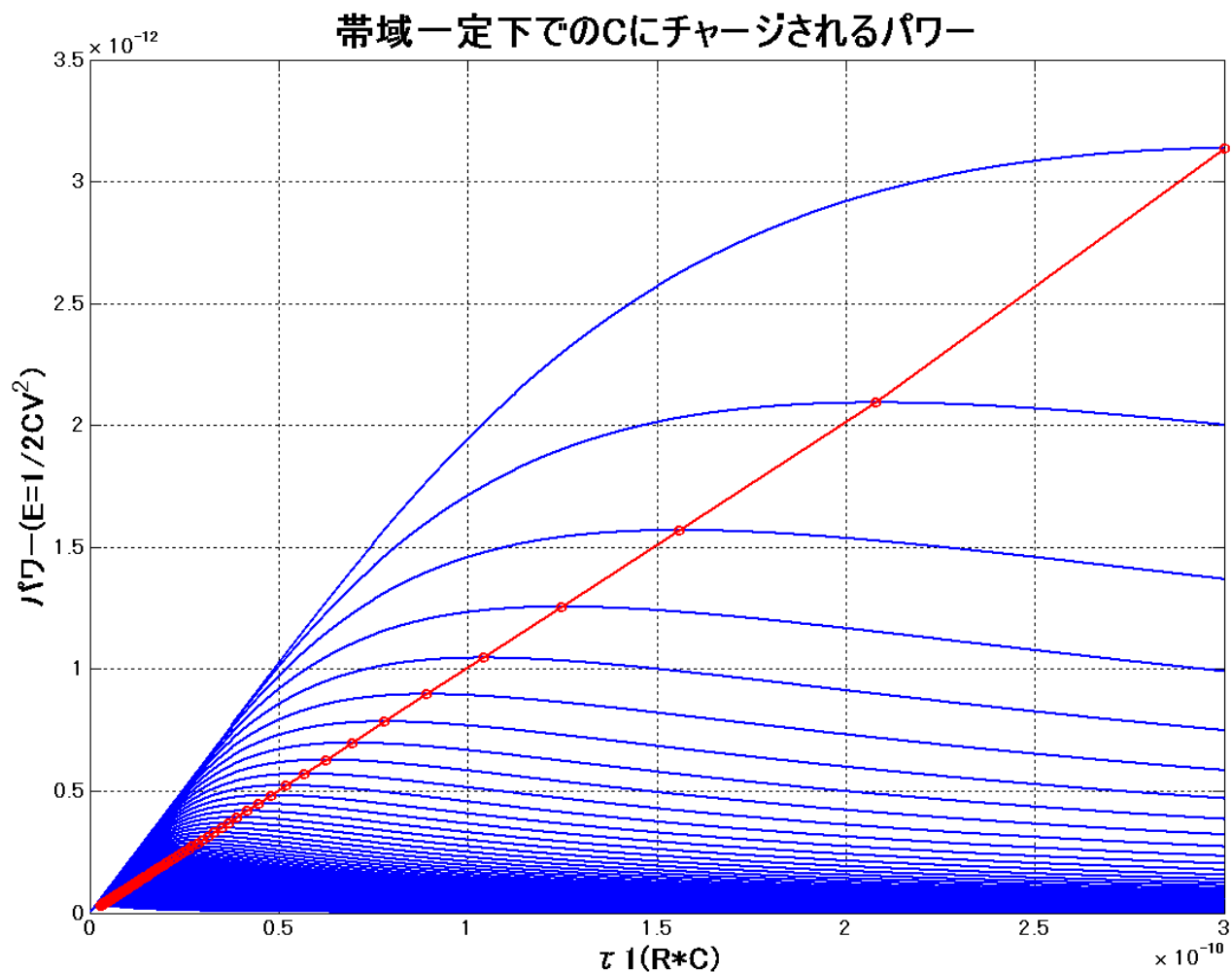
■ 回路的考察とシミュレーションにより発見

SNR最大 \Leftrightarrow 容量保持エネルギー最大の証明

$$\begin{aligned} \text{SNR} &= 20 \log V_{\text{out}} / \text{root}(kT/C) && [\text{dB}] \\ &= 10 \log V_{\text{out}}^2 / (kT/C) \\ &= 10 \log [(1/2) C V_{\text{out}}^2] + \text{定数} \\ &= 10 \log [\text{容量保持エネルギー}] \\ &&& + \text{定数} \end{aligned}$$

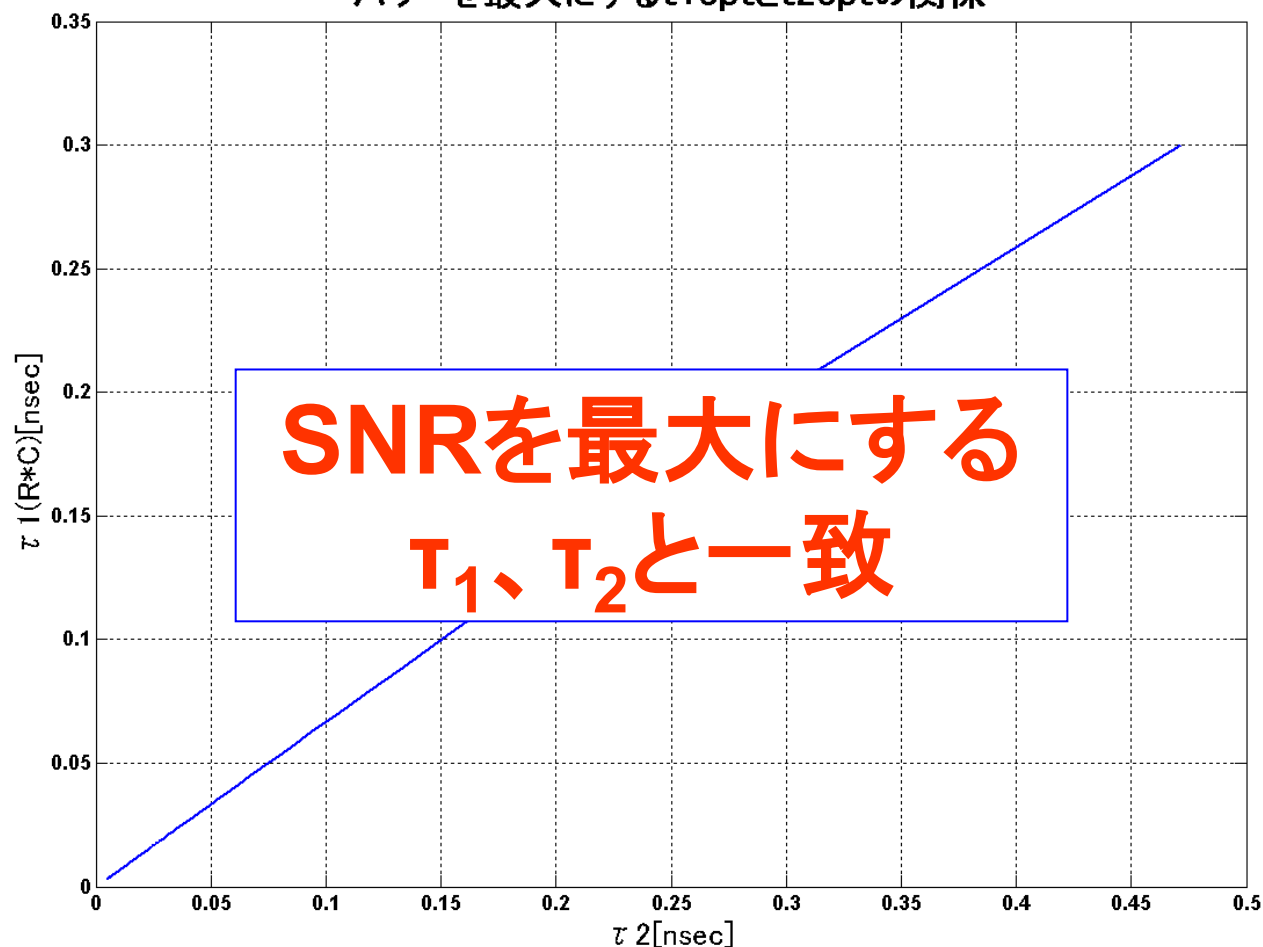
\Rightarrow 容量保持エネルギー最大 \Leftrightarrow SNR最大

τ_{1opt} と τ_{2opt} の物理的解釈



τ_{1opt} と τ_{2opt} の物理的解釈

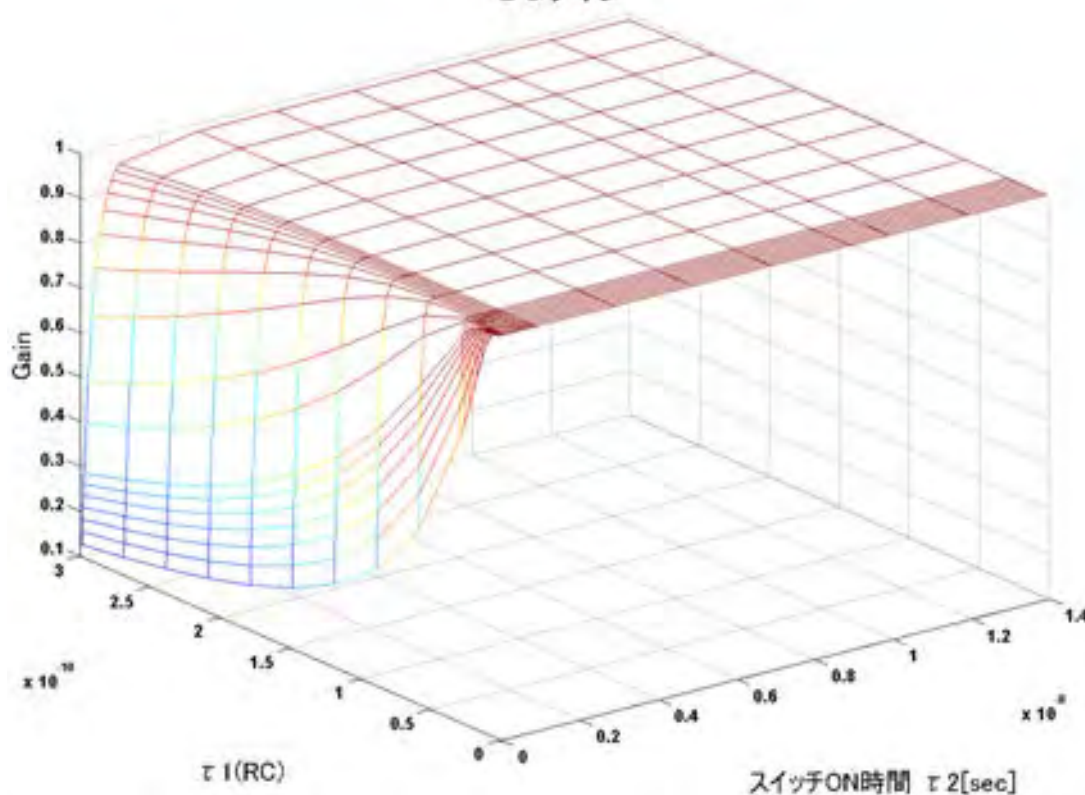
パワーを最大にする τ_{1opt} と τ_{2opt} の関係



T_{1opt} と T_{2opt} を得る計算過程

■ ステップ応答の出力振幅を求める

DCゲイン



信号成分:
 $1 - \exp(-t_{2opt}/t_{1opt})$

τ_{1opt} と τ_{2opt} を得る計算過程

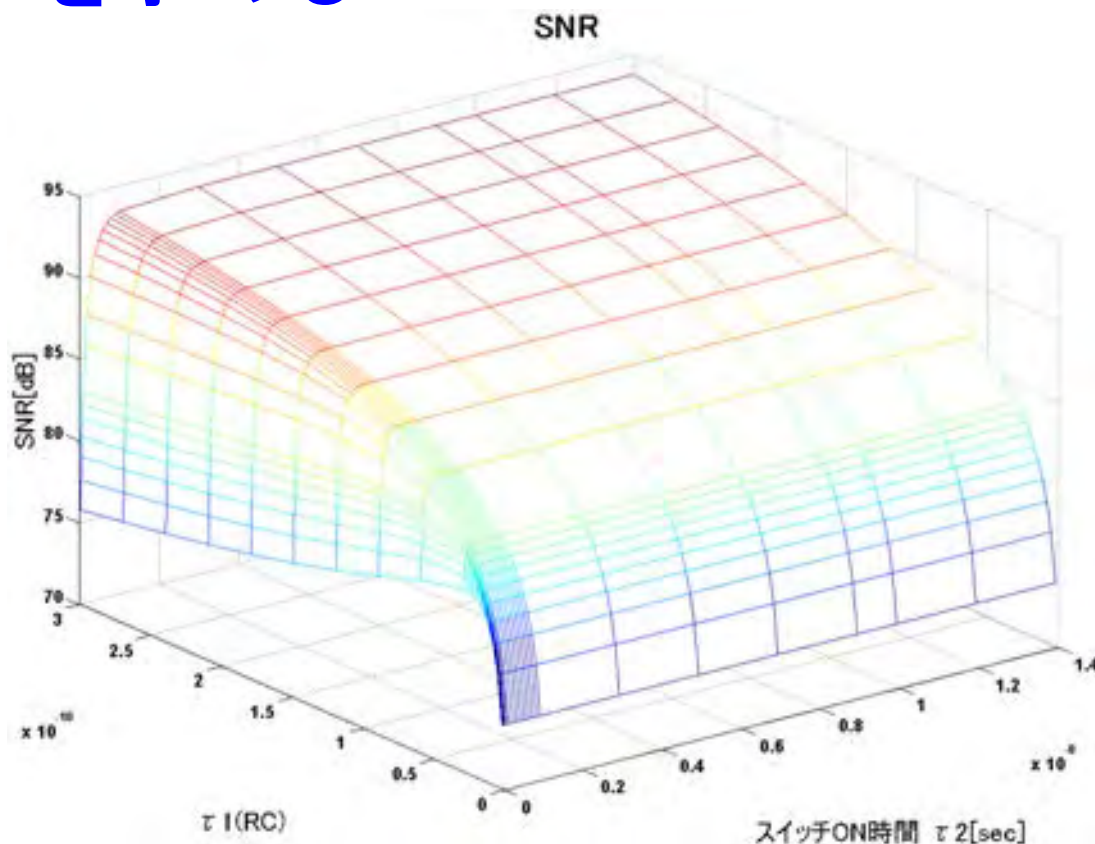
■ SNRを求める

信号成分:

$$1 - \exp(-t_2 / t_1)$$

雑音成分(rms):

$$\sqrt{kT/C}$$

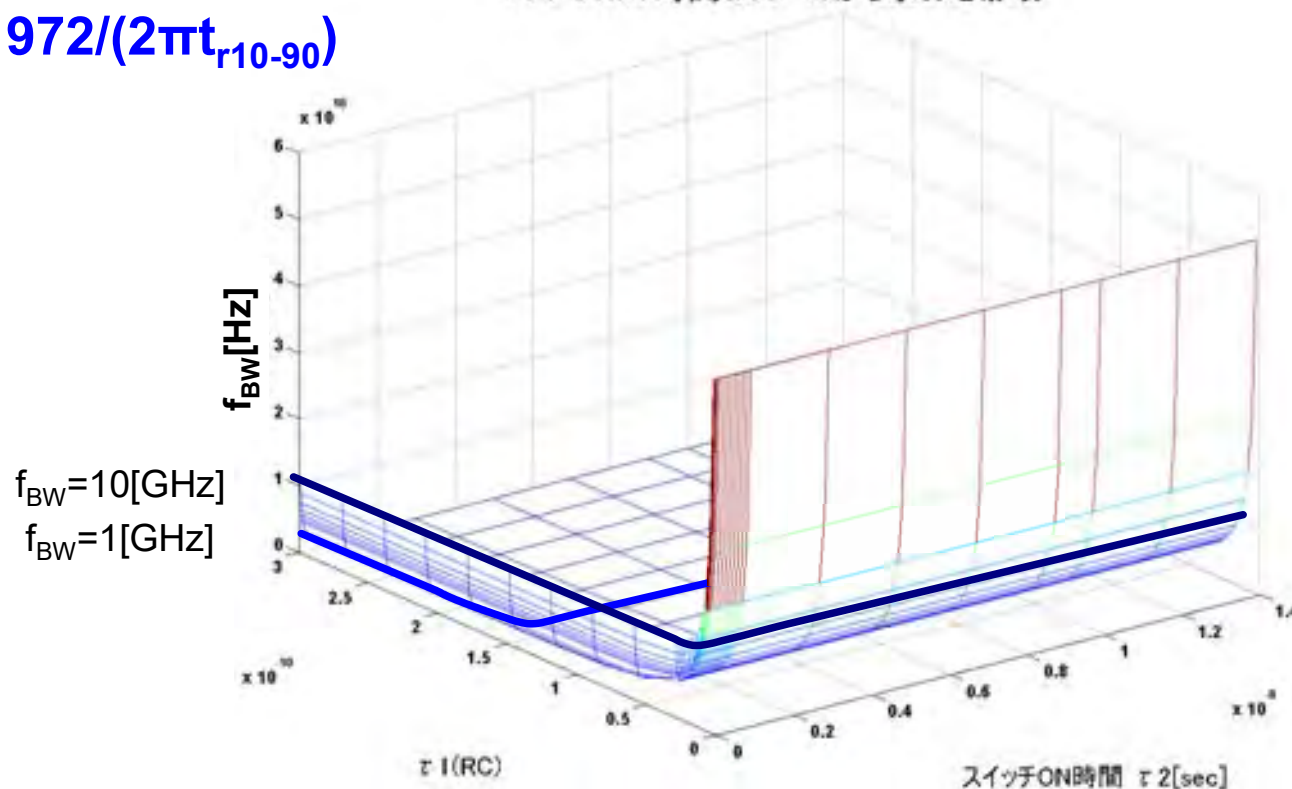


τ_{1opt} と τ_{2opt} を得る計算過程

■ 帯域を求める

10%-90%の時間 t_{r90-10} から求めた帯域

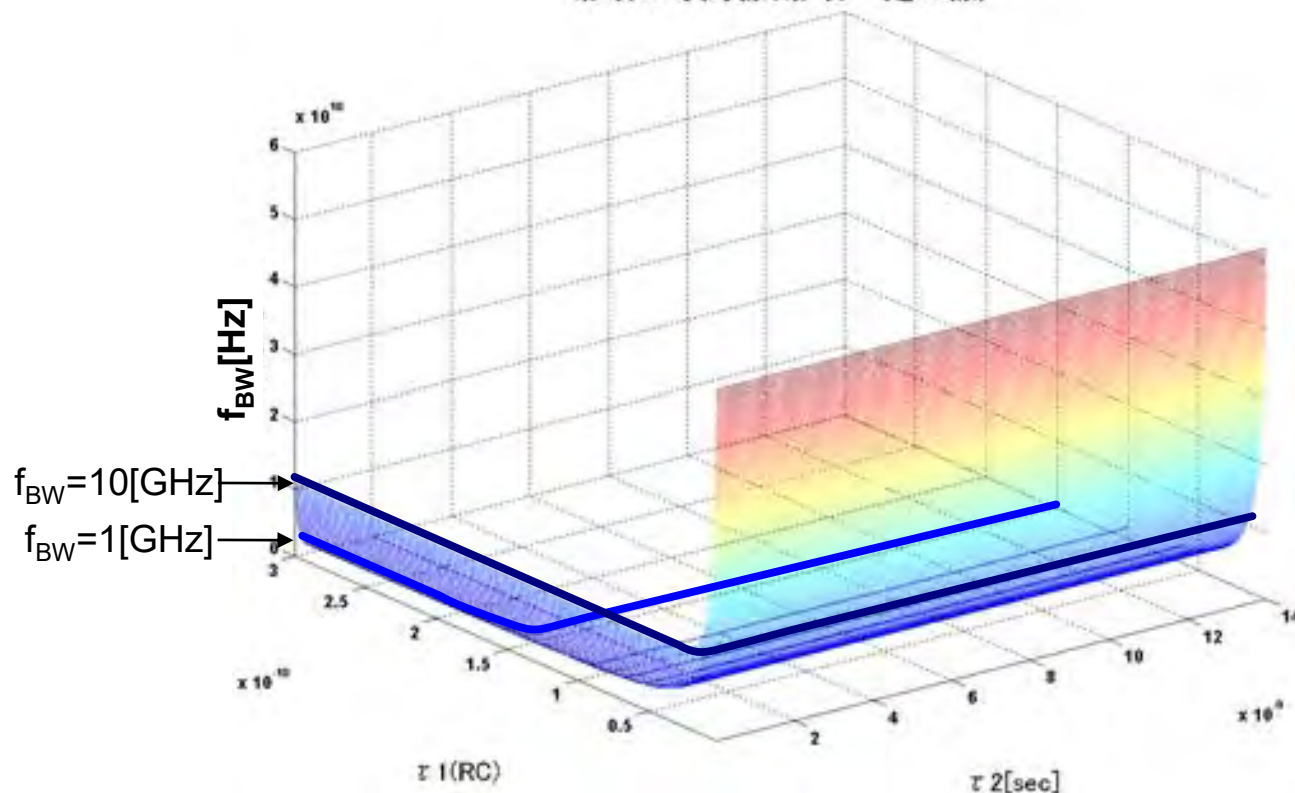
$$f_{BW} = 2.1972 / (2\pi\tau_{r10-90})$$



τ_{1opt} と τ_{2opt} を得る計算過程

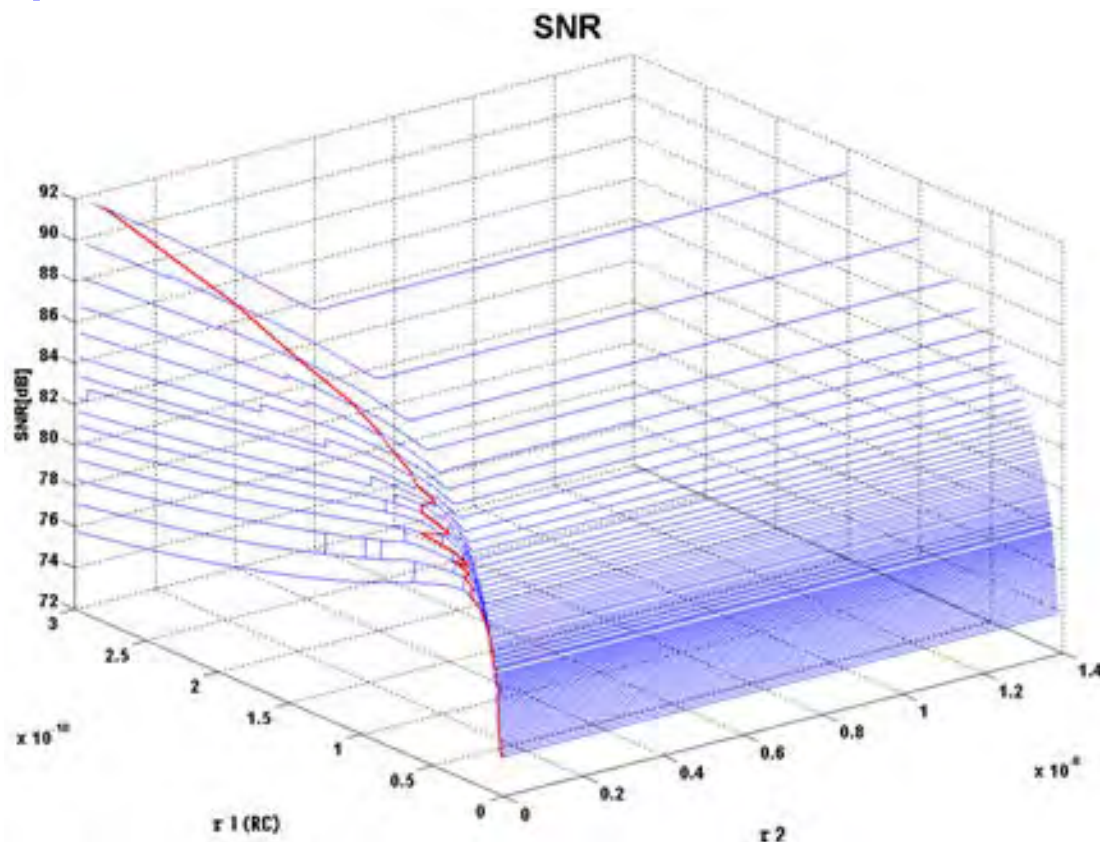
■ 帯域一定の条件を求める

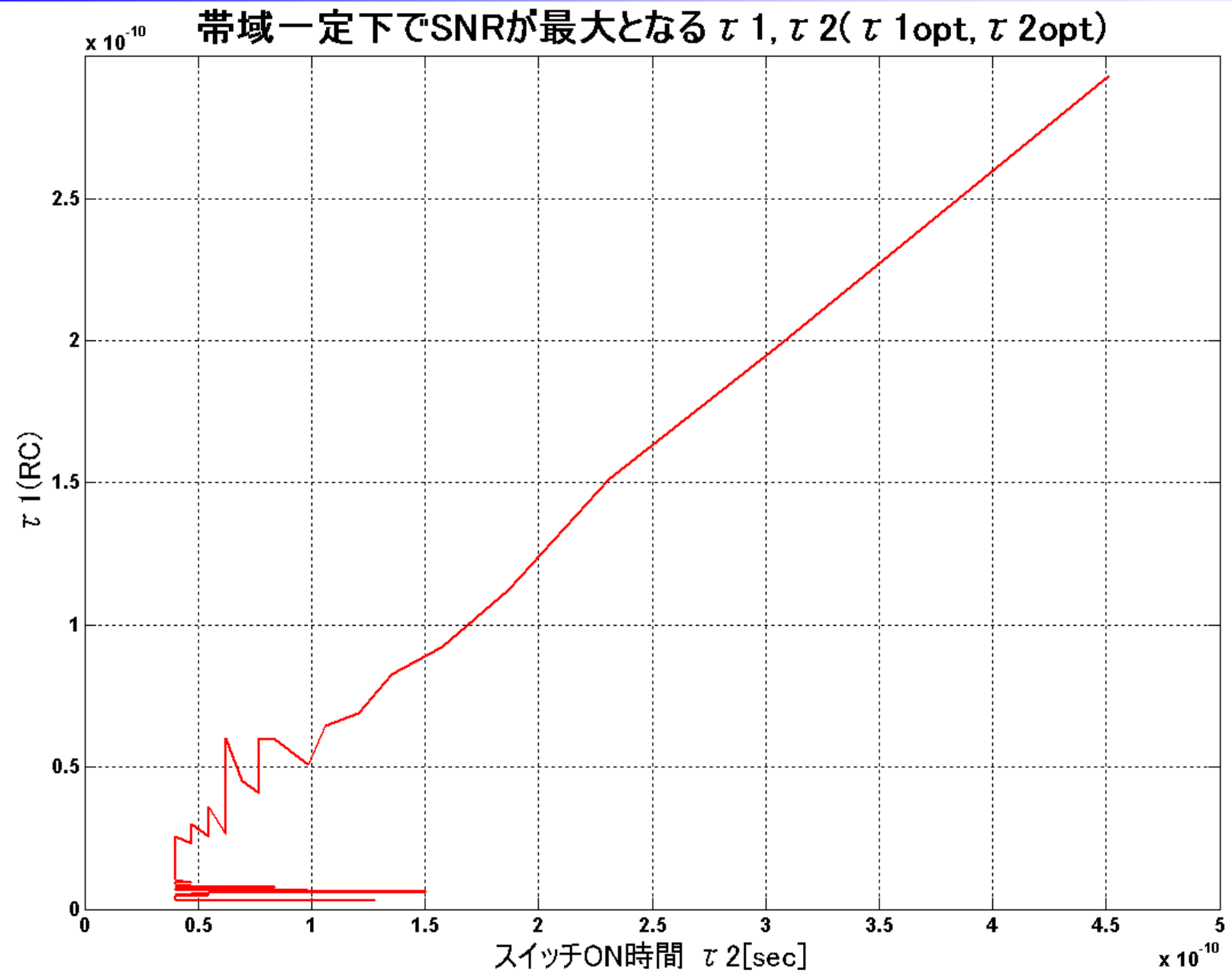
帯域の等高線(帯域一定の線)

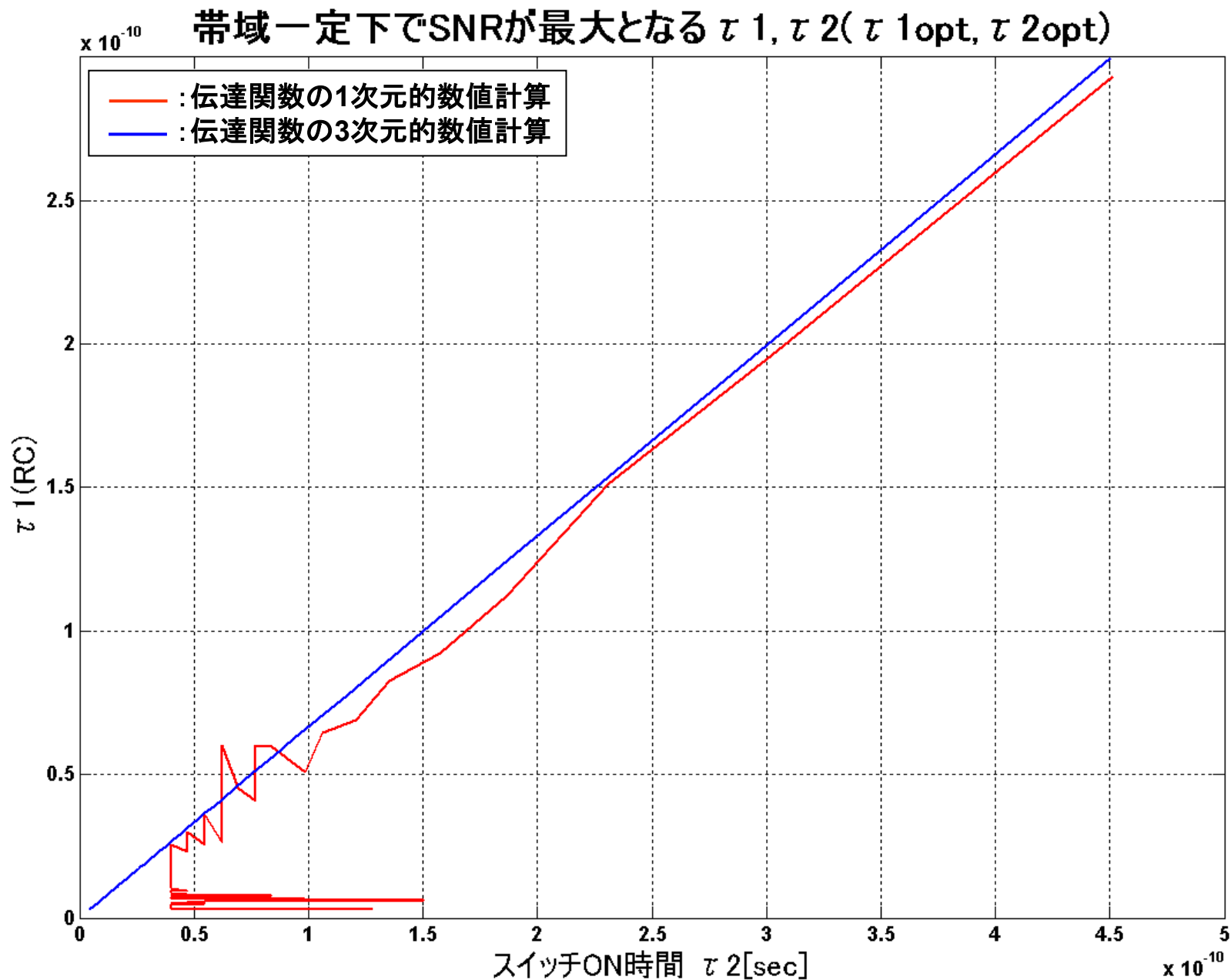


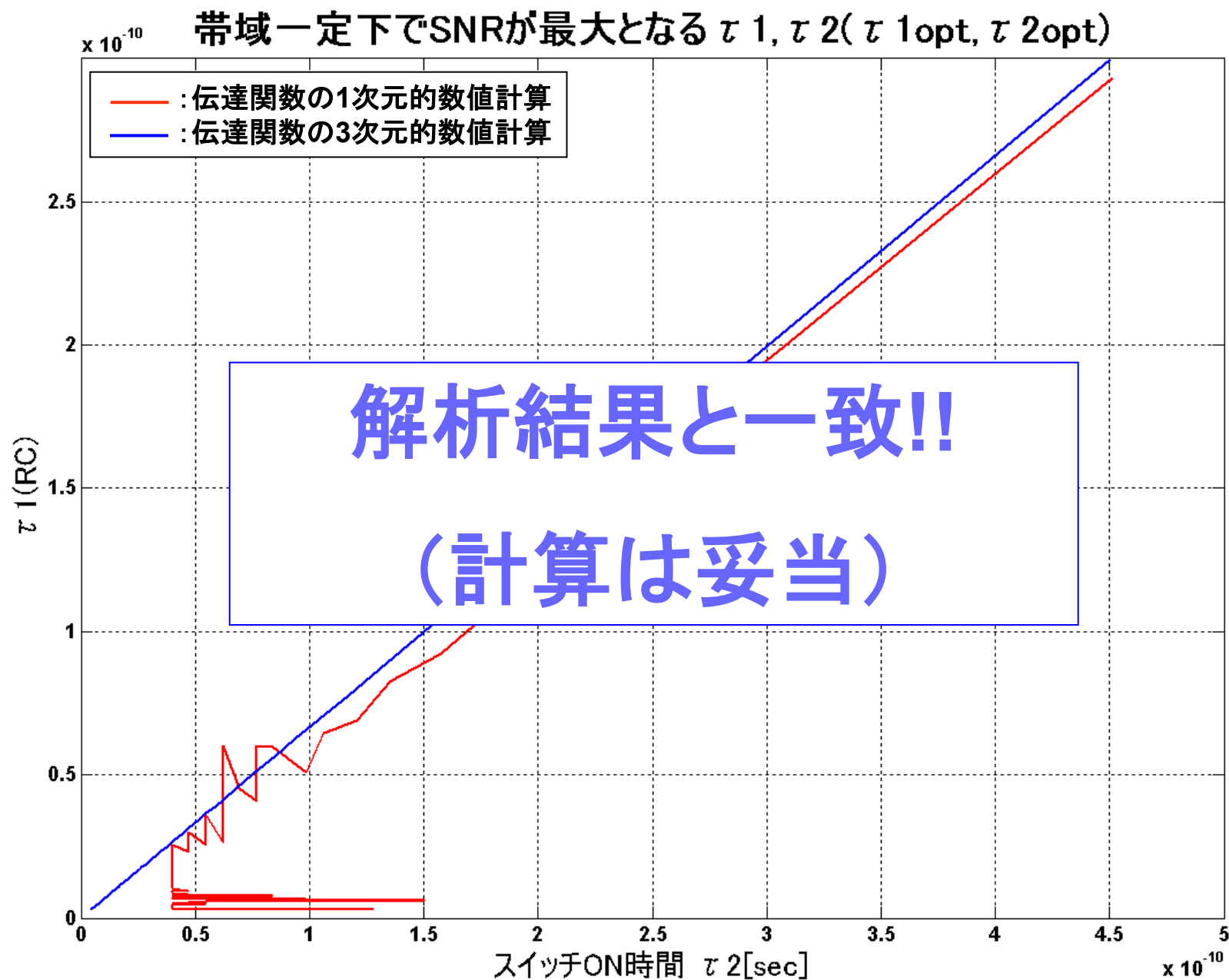
T_{1opt} と T_{2opt} を得る計算過程

■ ある帯域でのSNRを求める



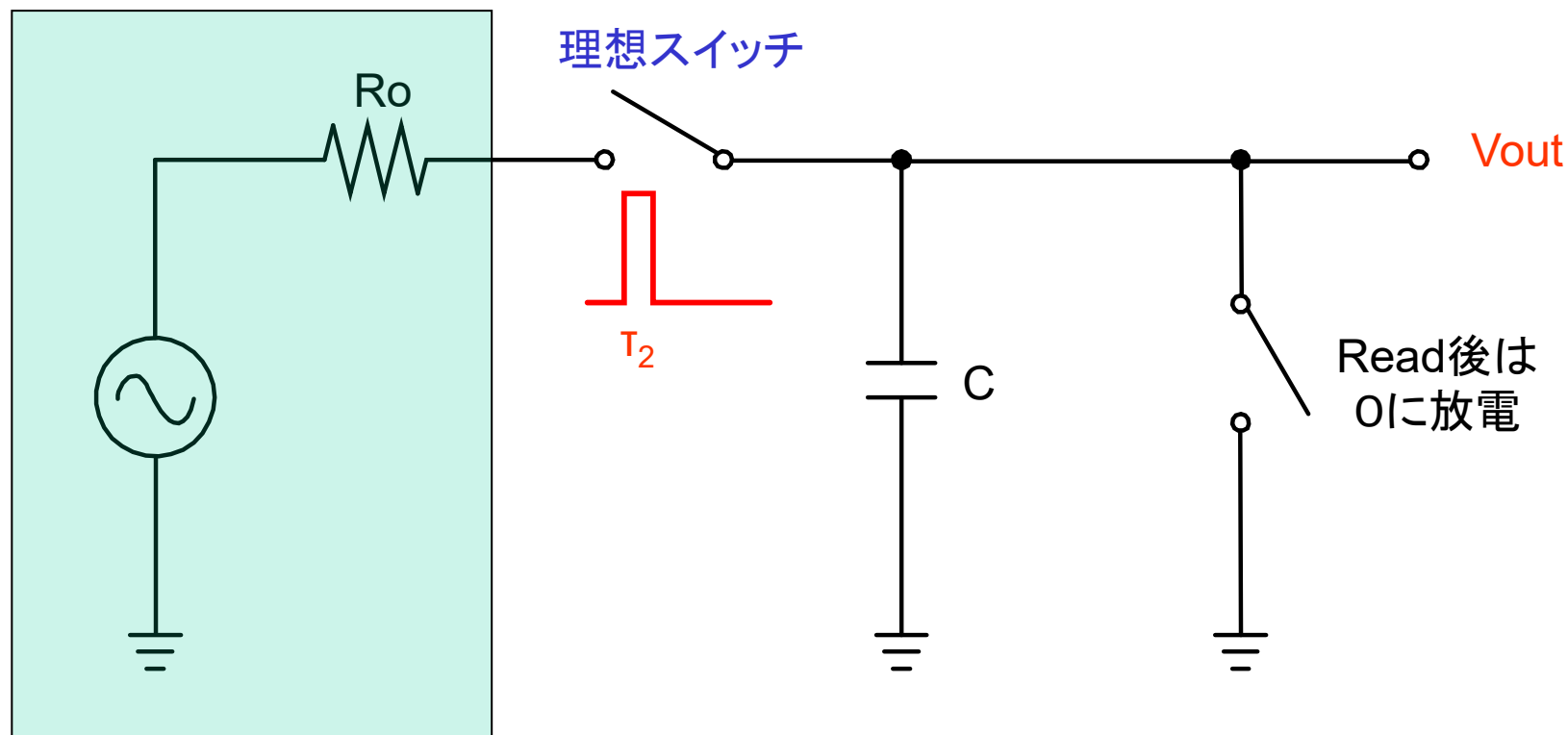






SPICEシミュレーション によるアプローチ

シミュレーション回路



ステップ入力

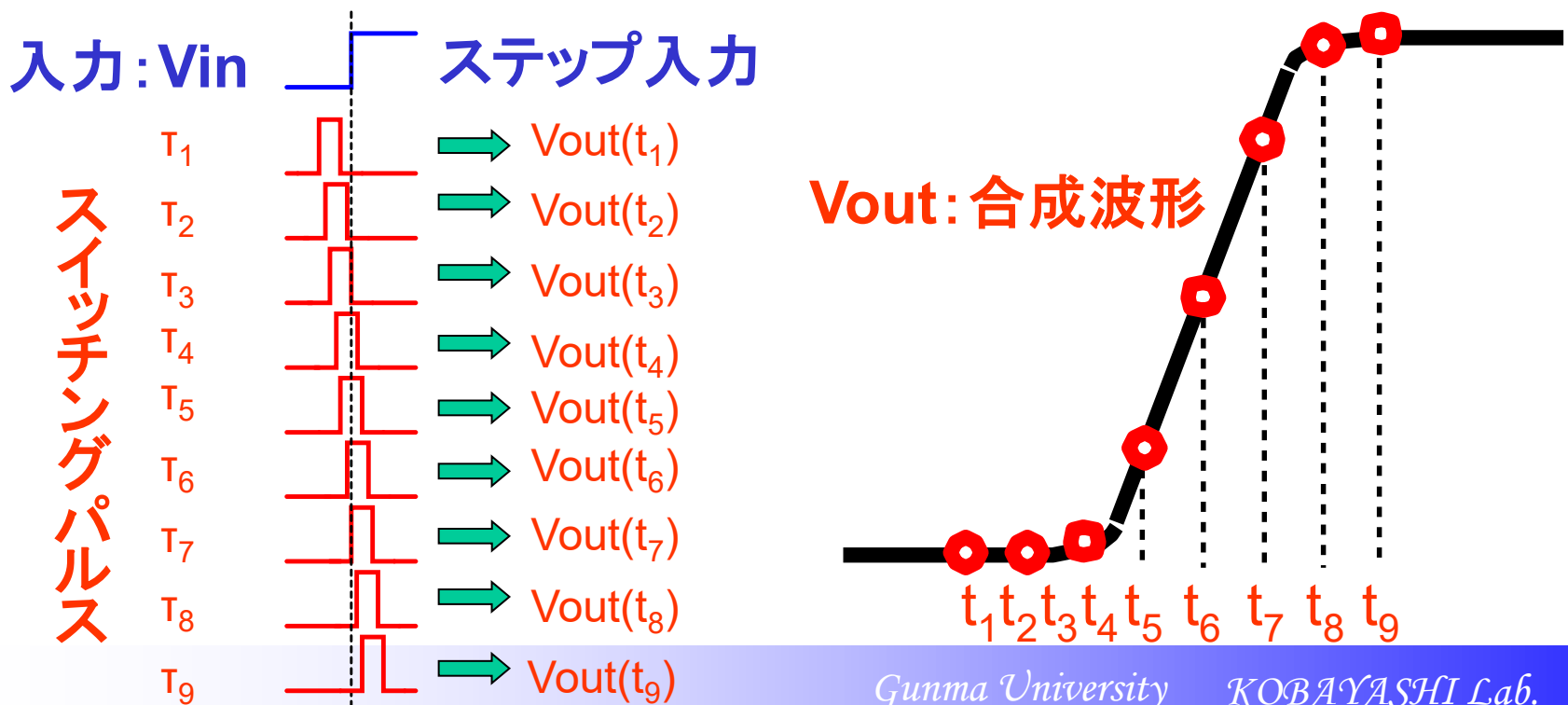
Ro: 固定 (30Ω)

T_1 、 T_2 : パラメータ

$N_{rms} = \sqrt{kT/C}$ で計算

等価時間サンプリング

■ ステップ入力の等価時間サンプリング
 ⇒ 帯域 f_{bw} と 信号 S



計算方法

■ シミュレーション結果

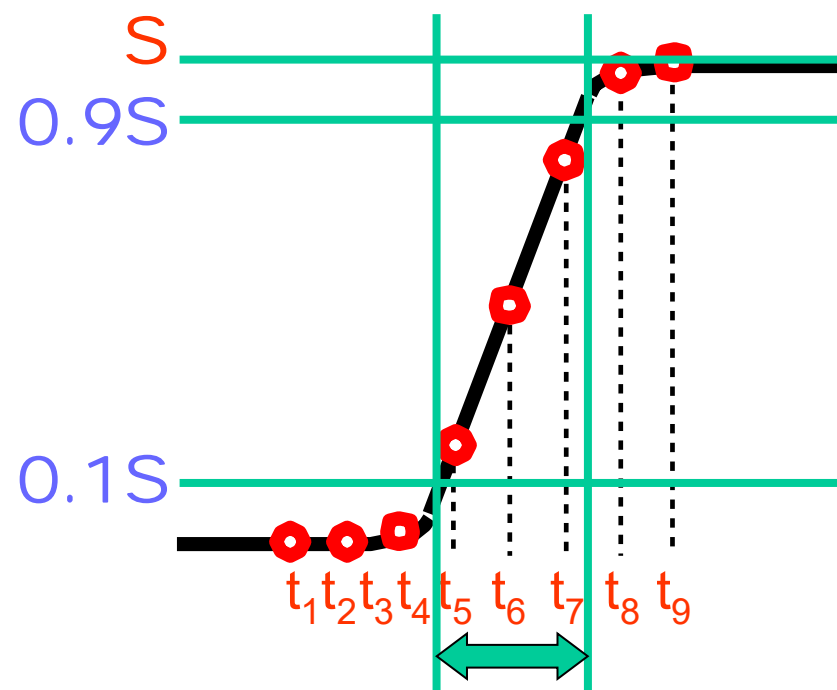
- 信号: S

- 立ち上がり時間: t_{r10-90}

■ $\text{Noise} = \sqrt{kT/C}$

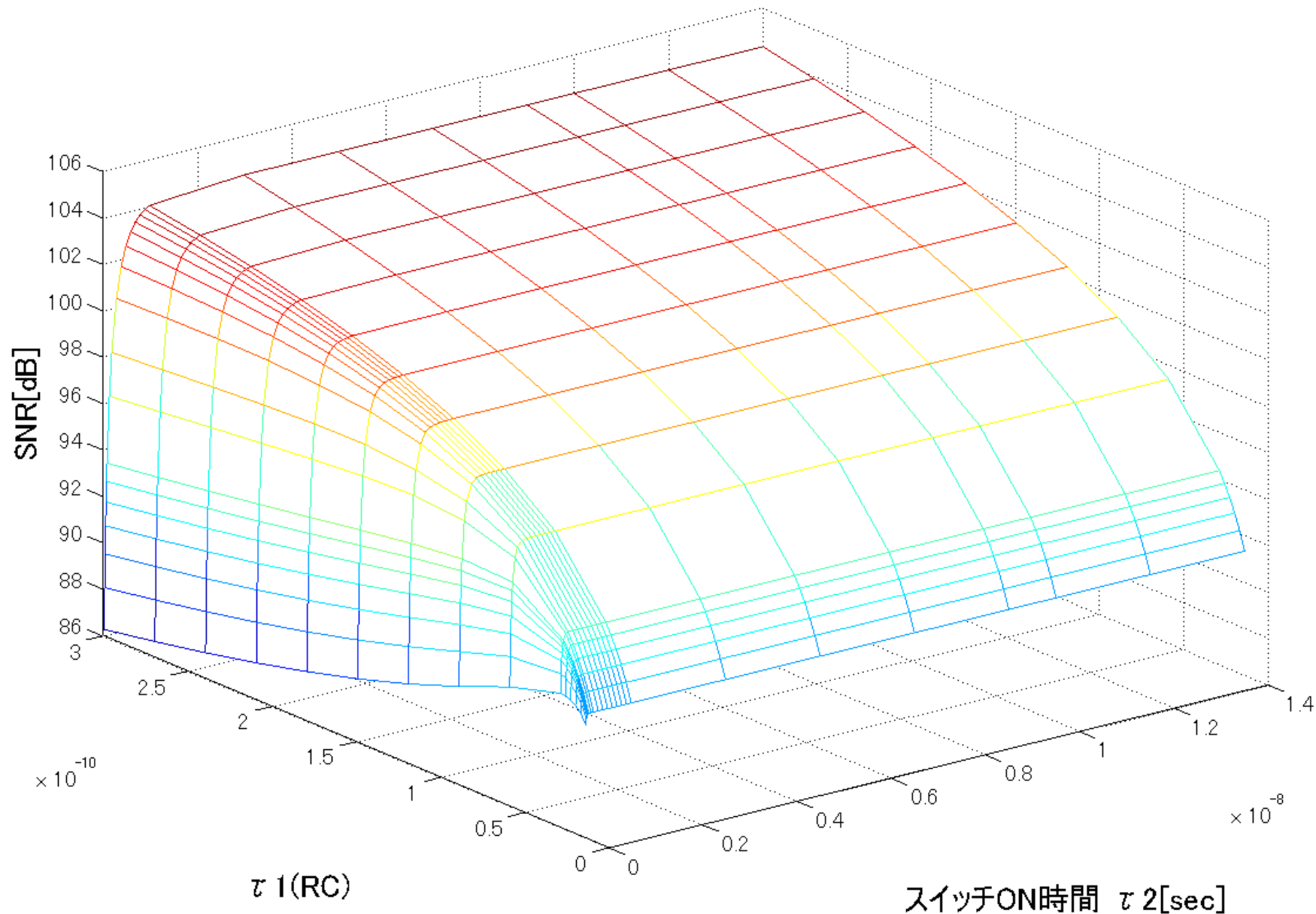
⇒ SNR

⇒ 一次系仮定の帯域

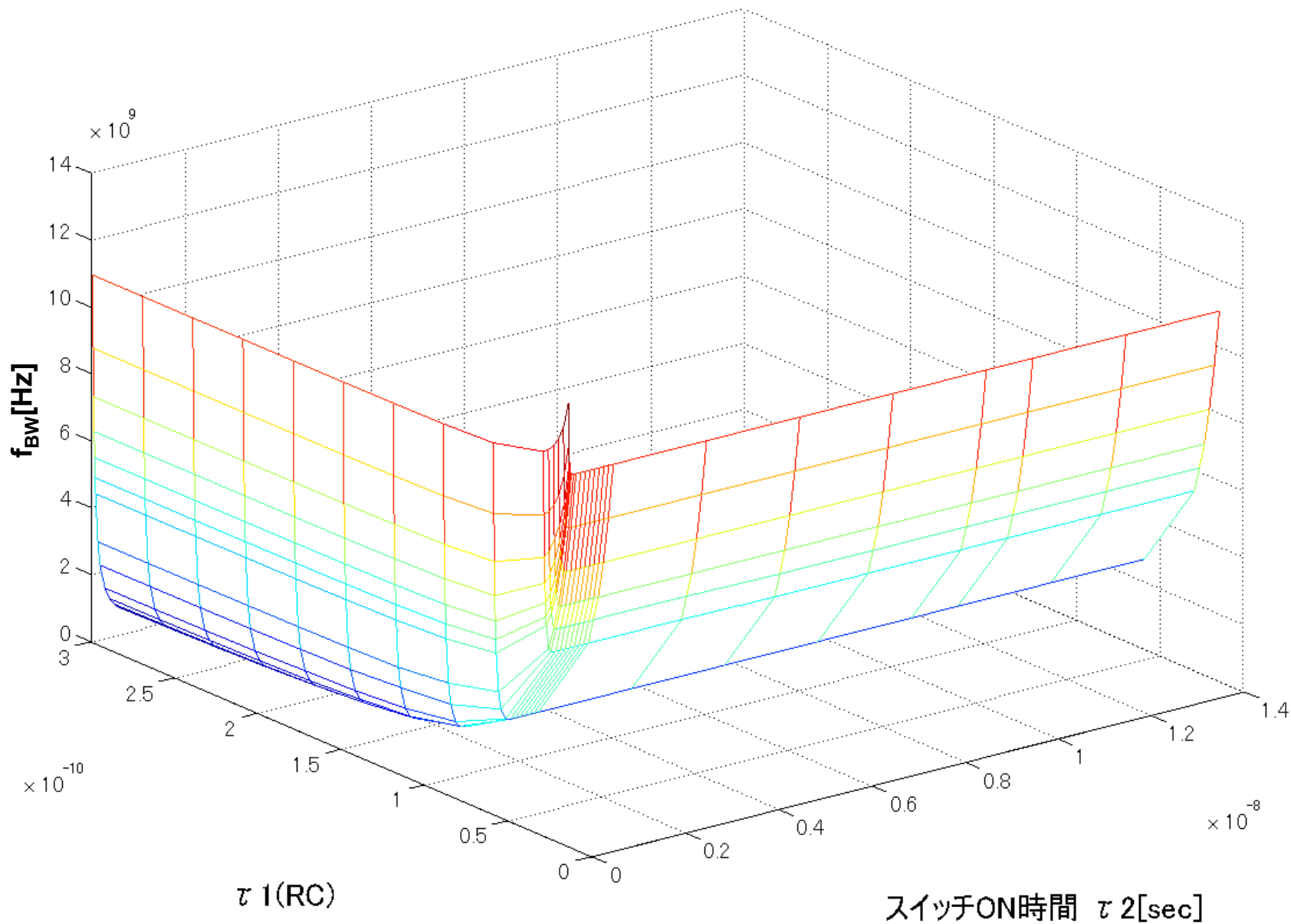


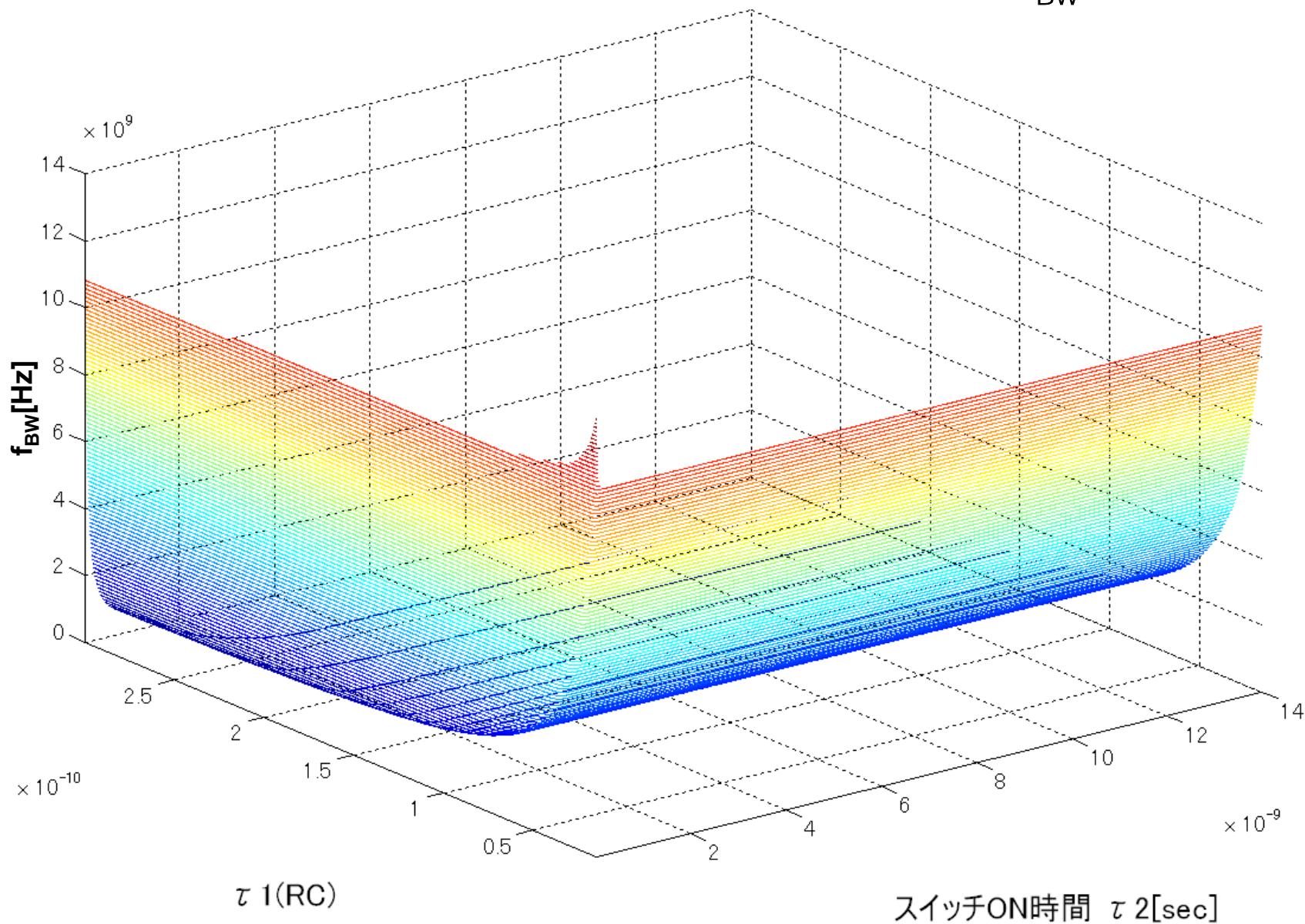
$$RC_{\text{est}} = t_{r10-90} / 2.1972 \quad \leftarrow t_{r10-90}$$

SPICEシミュレーション結果から計算したSNR

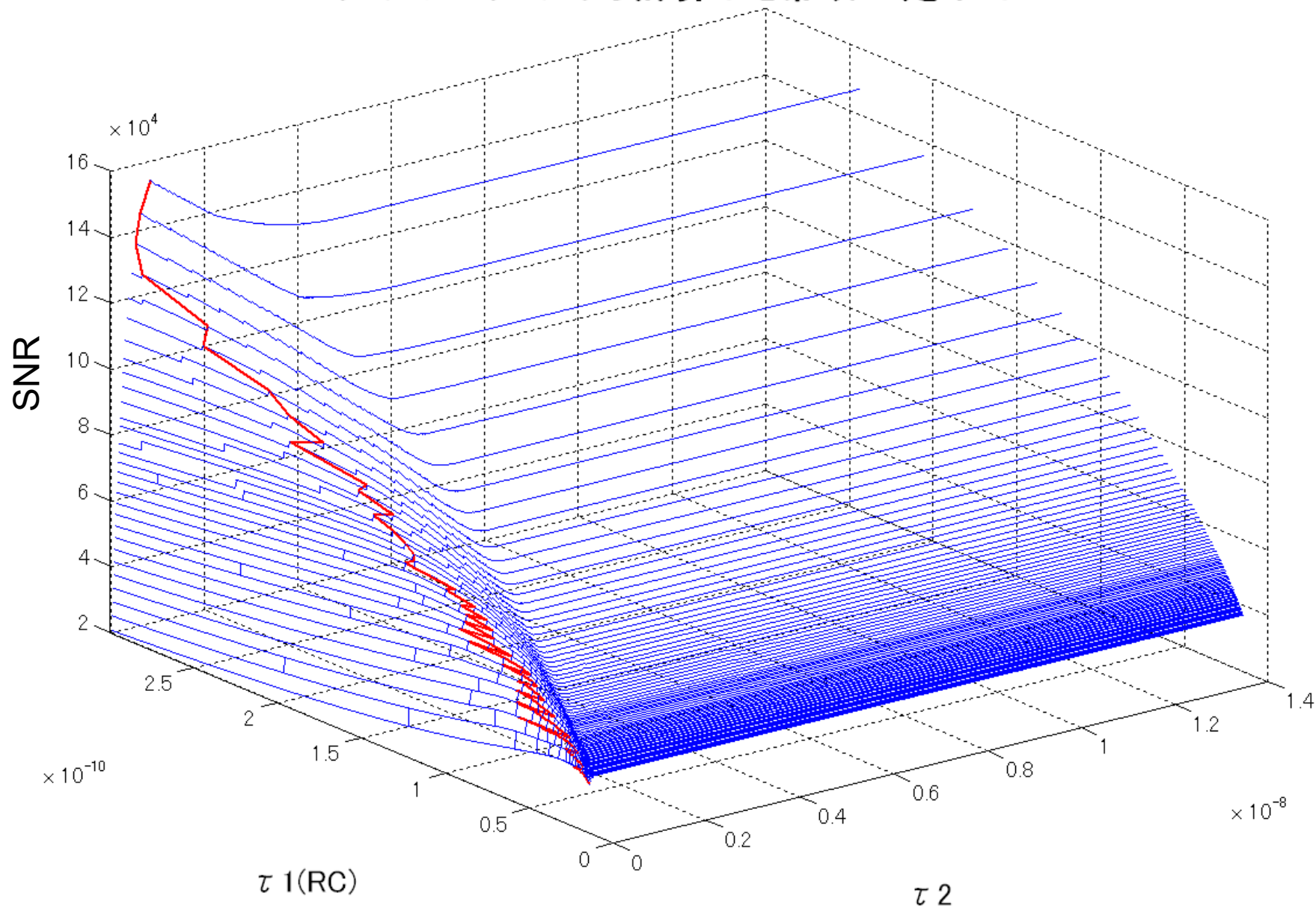


SPICEシミュレーション結果から計算した帯域

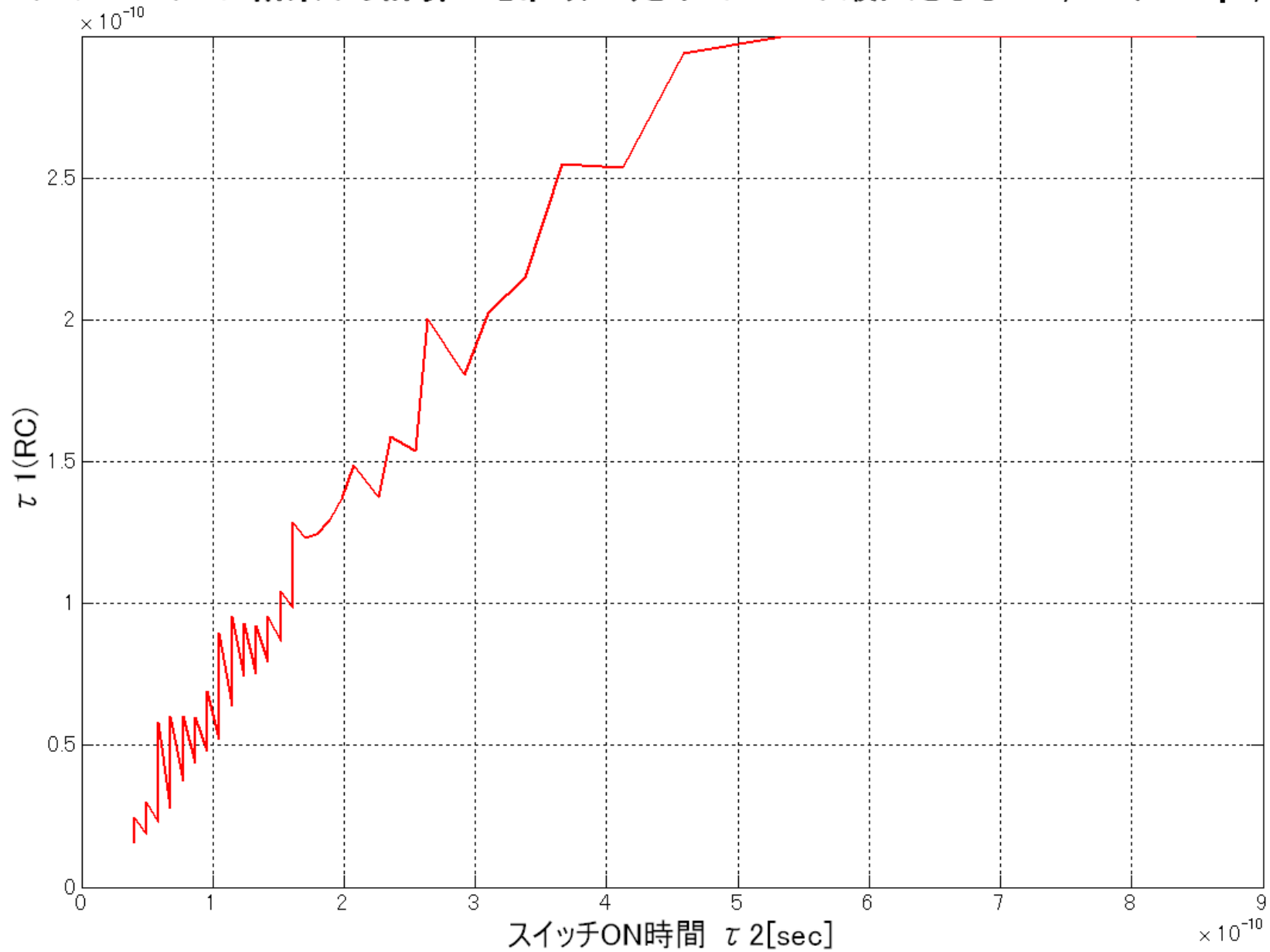


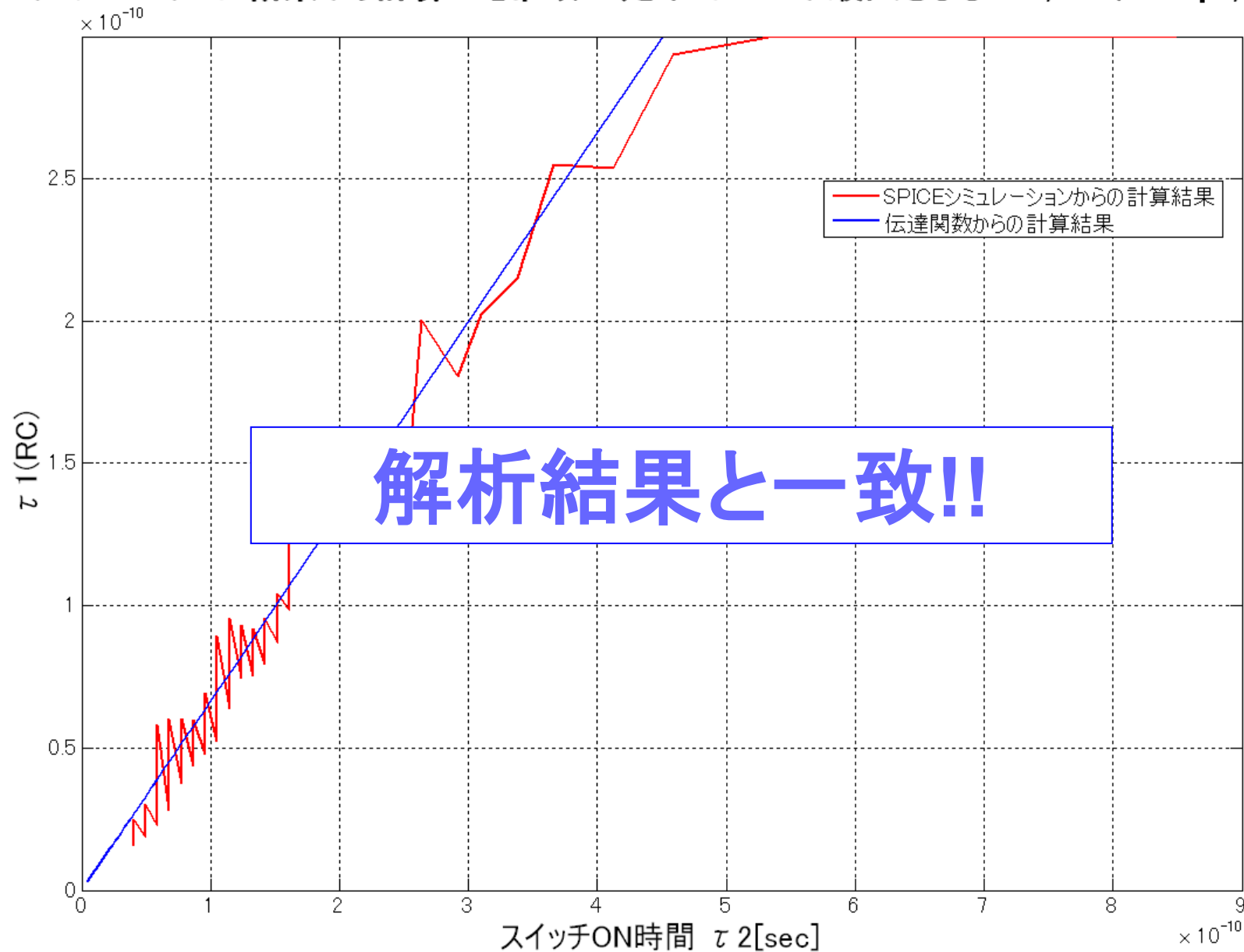
SPICEシミュレーション結果から計算した帯域の等高線 (f_{BW} 一定の線)

SPICEシミュレーションから計算した帯域一定下でのSNR



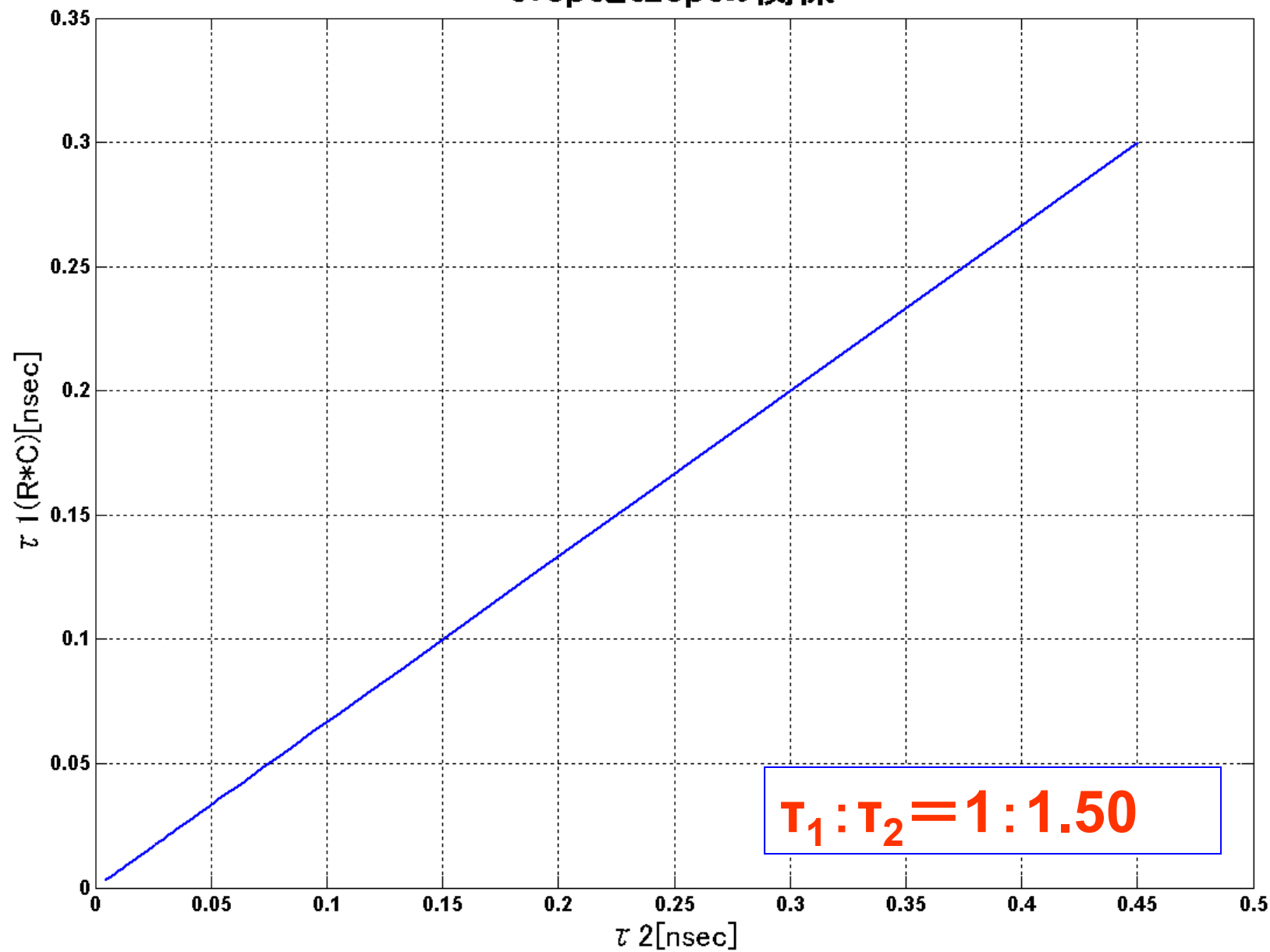
SPICEシミュレーション結果から計算した帯域一定下でSNRが最大となる $\tau 1, \tau 2$ ($\tau 1_{opt}, \tau 2_{opt}$)



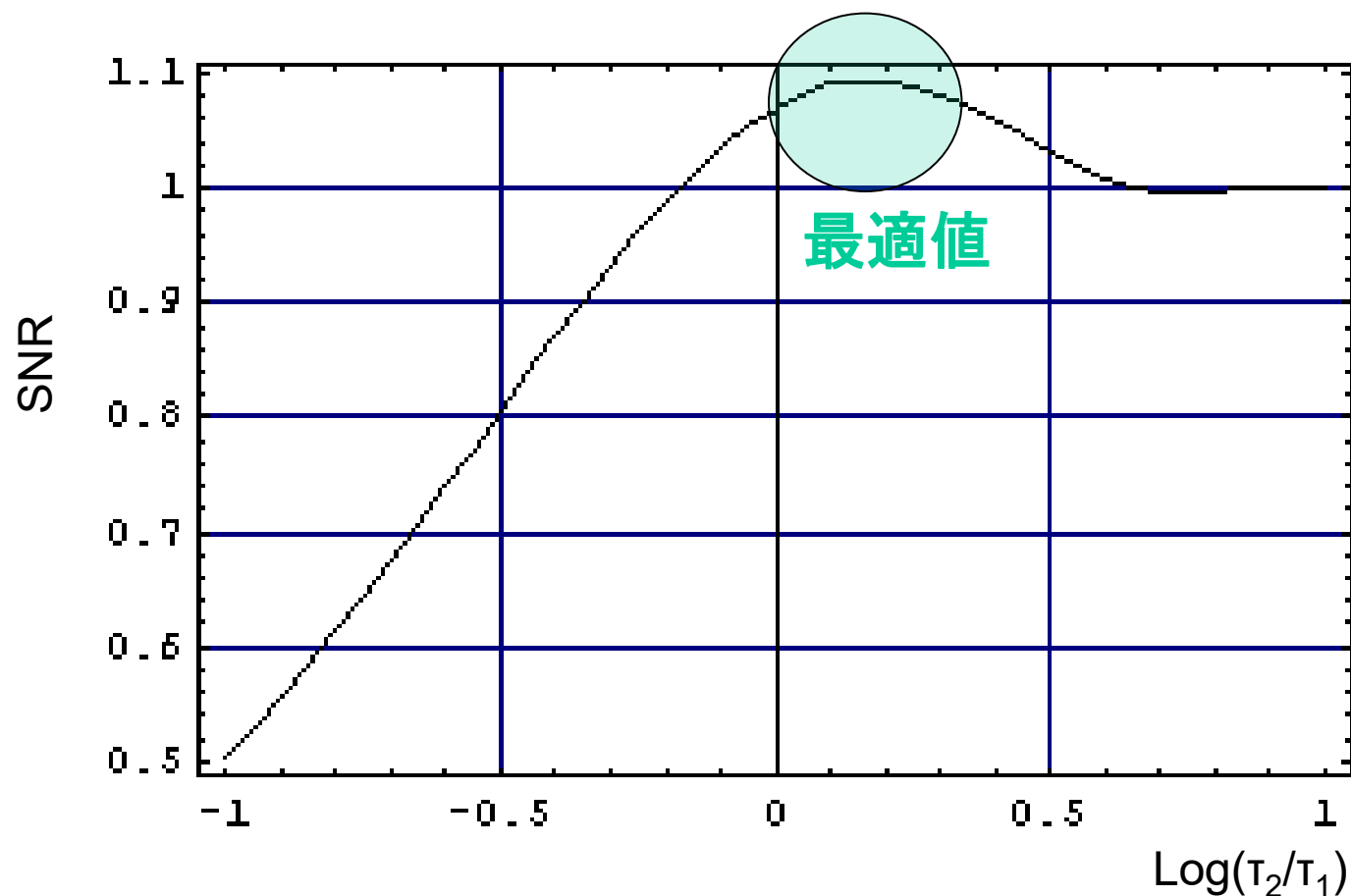
SPICEシミュレーション結果から計算した帯域一定下でSNRが最大となる τ_1, τ_2 (τ_{1opt}, τ_{2opt})

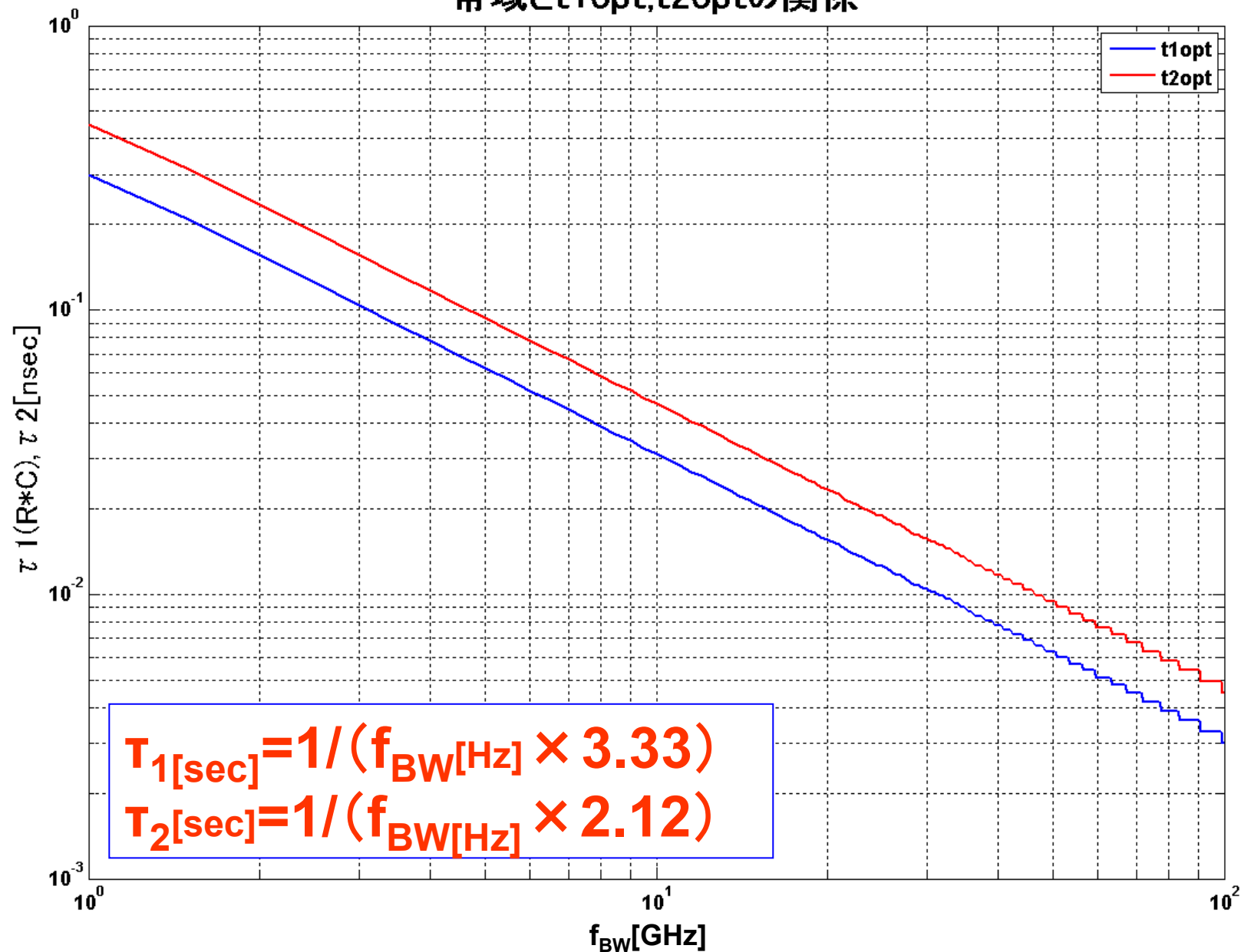
結果の考察

t1optとt2optの関係

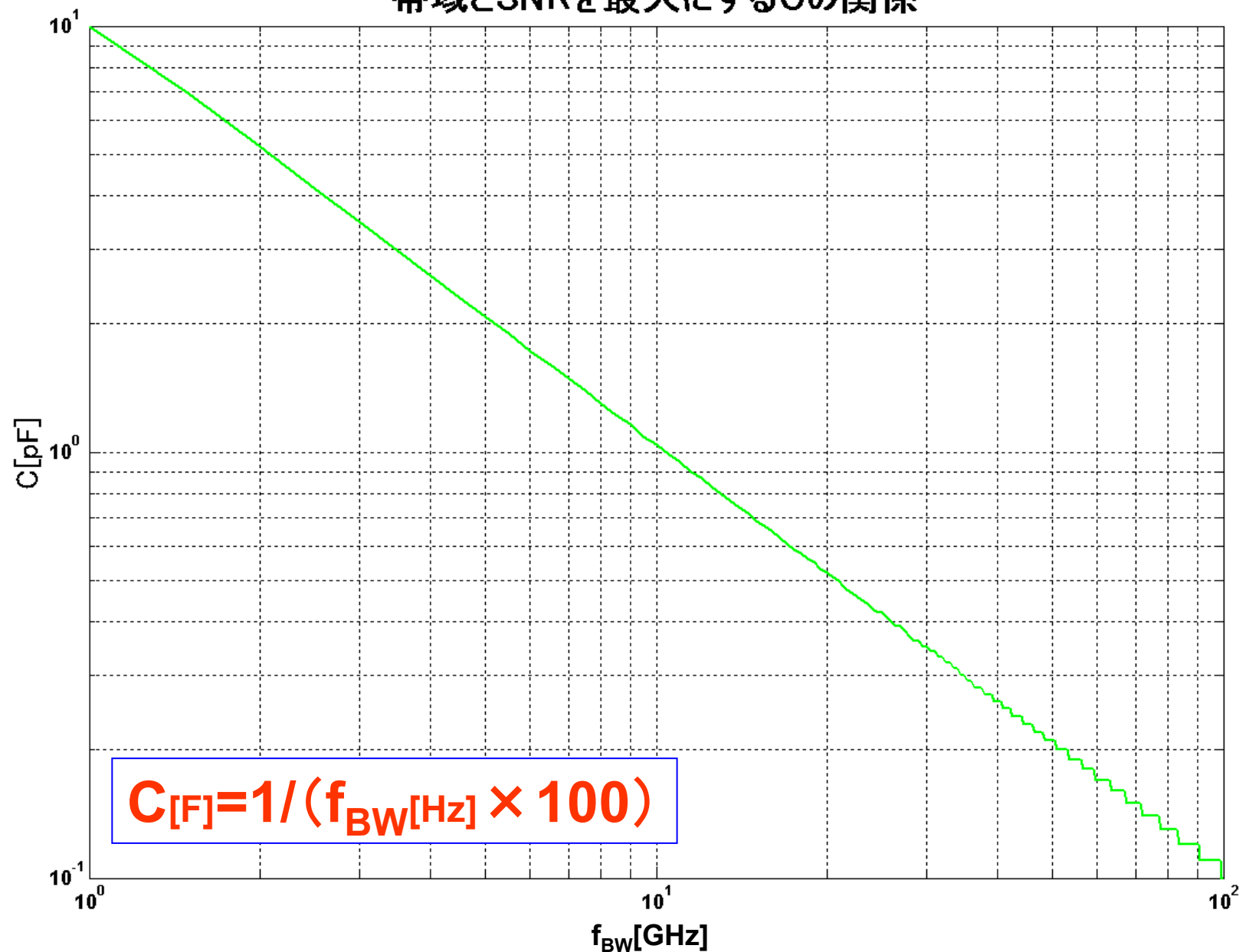


T_2/T_1 とSNRの関係

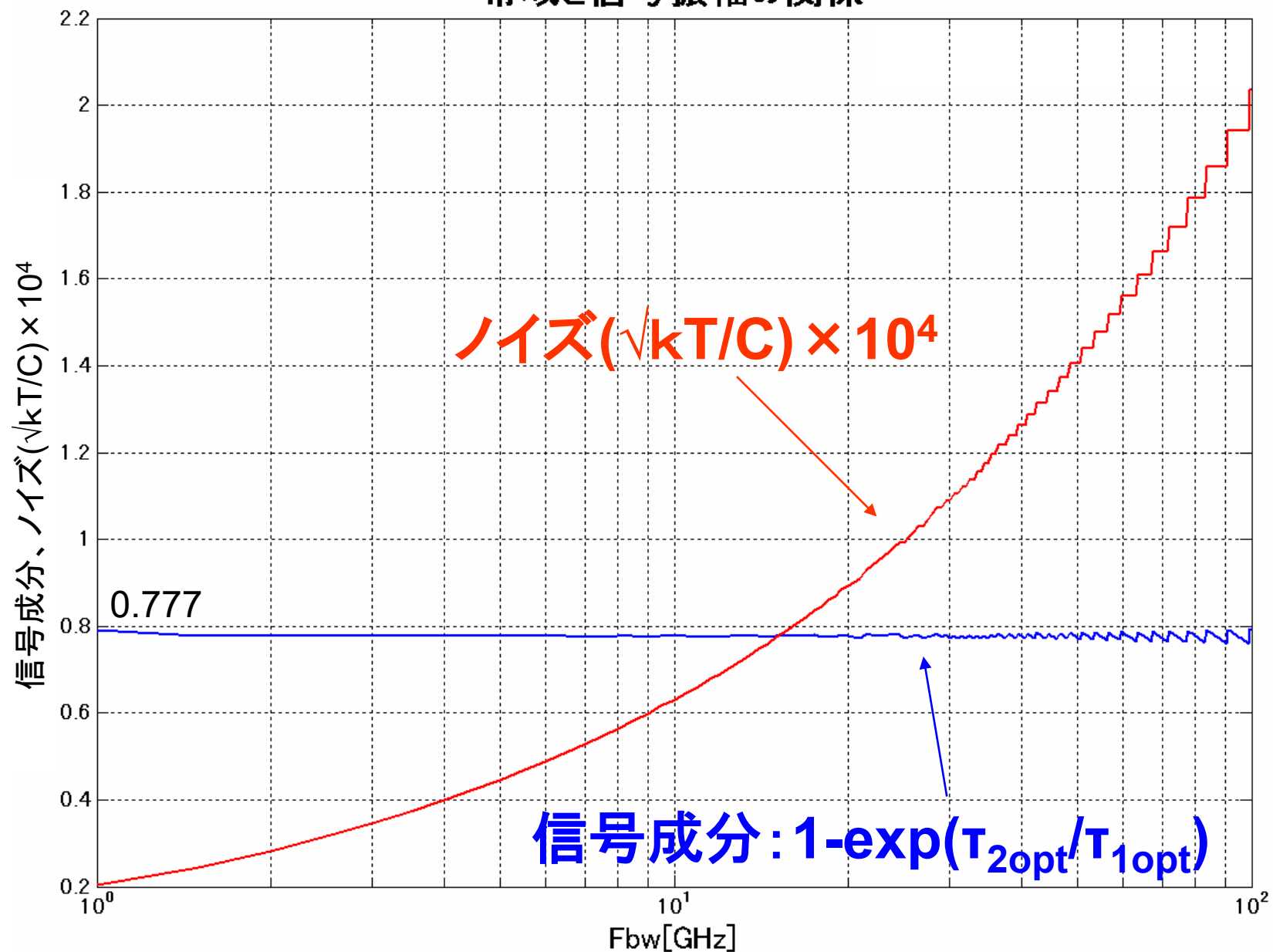


帯域と t_{1opt} , t_{2opt} の関係

帯域とSNRを最大にするCの関係

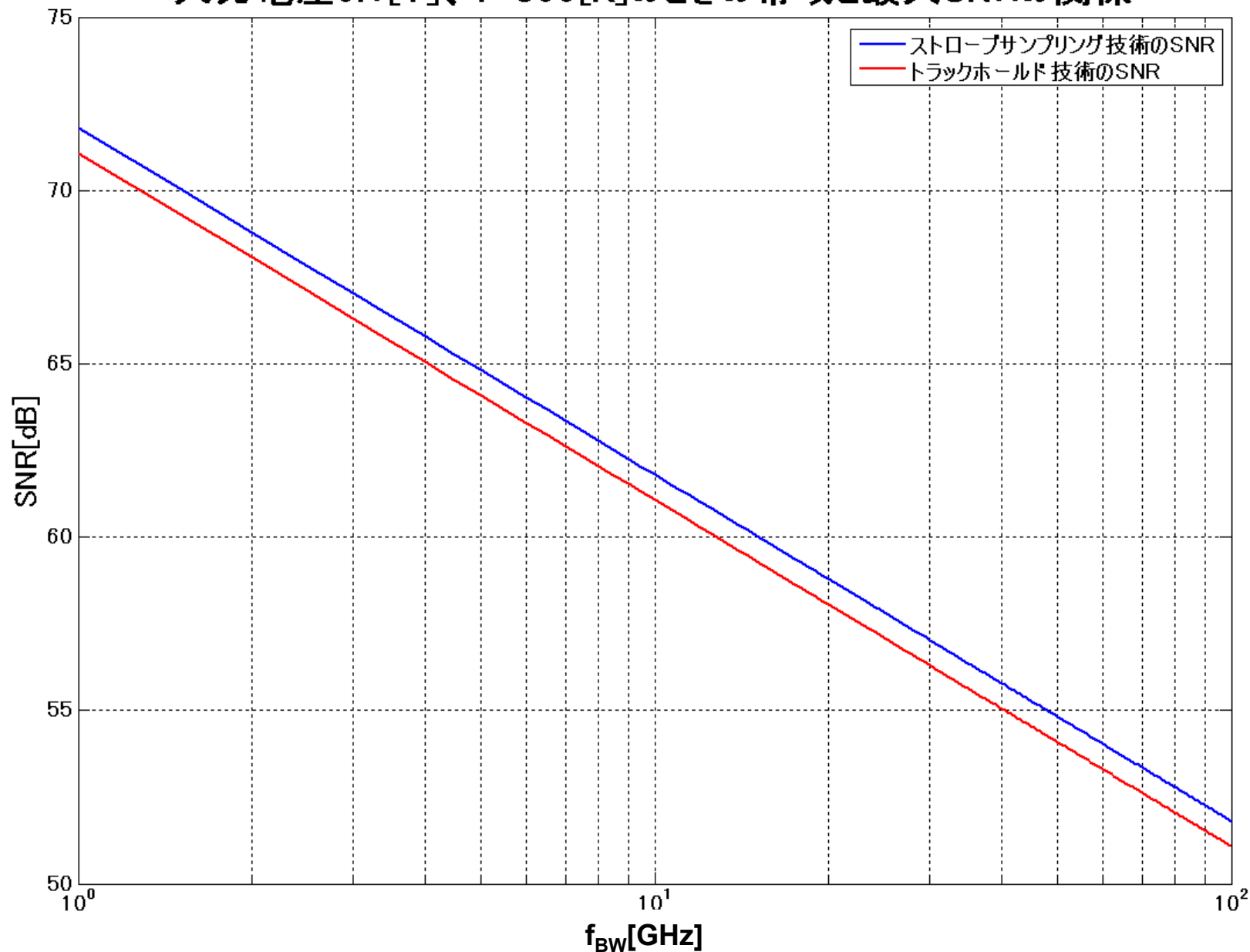


帯域と信号振幅の関係



入力電圧0.1[V]、T=300[K]のときの帯域と最大SNRの関係

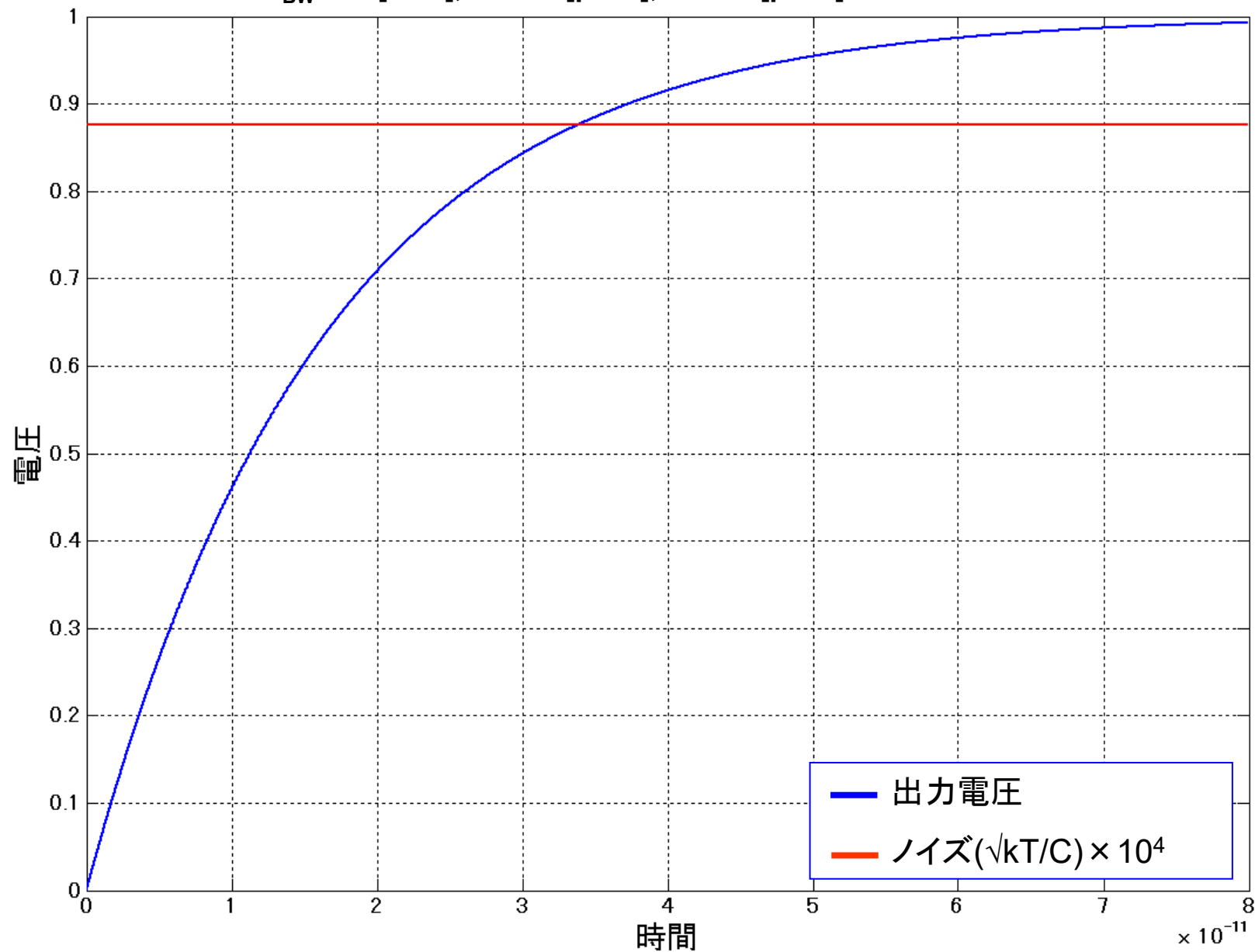


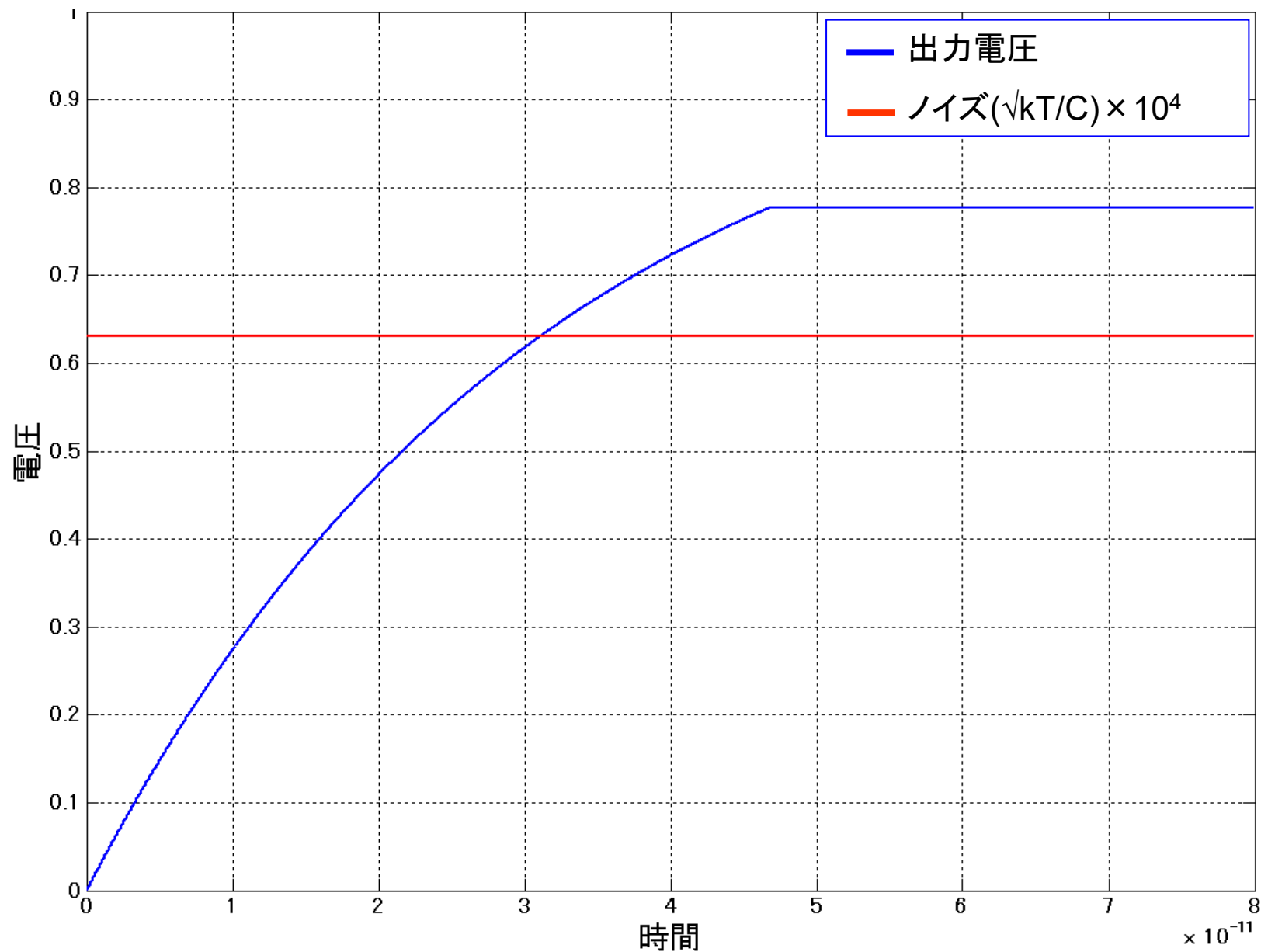
入力電圧0.1[V]、 $T=300$ [K]のときの帯域と最大SNRの関係

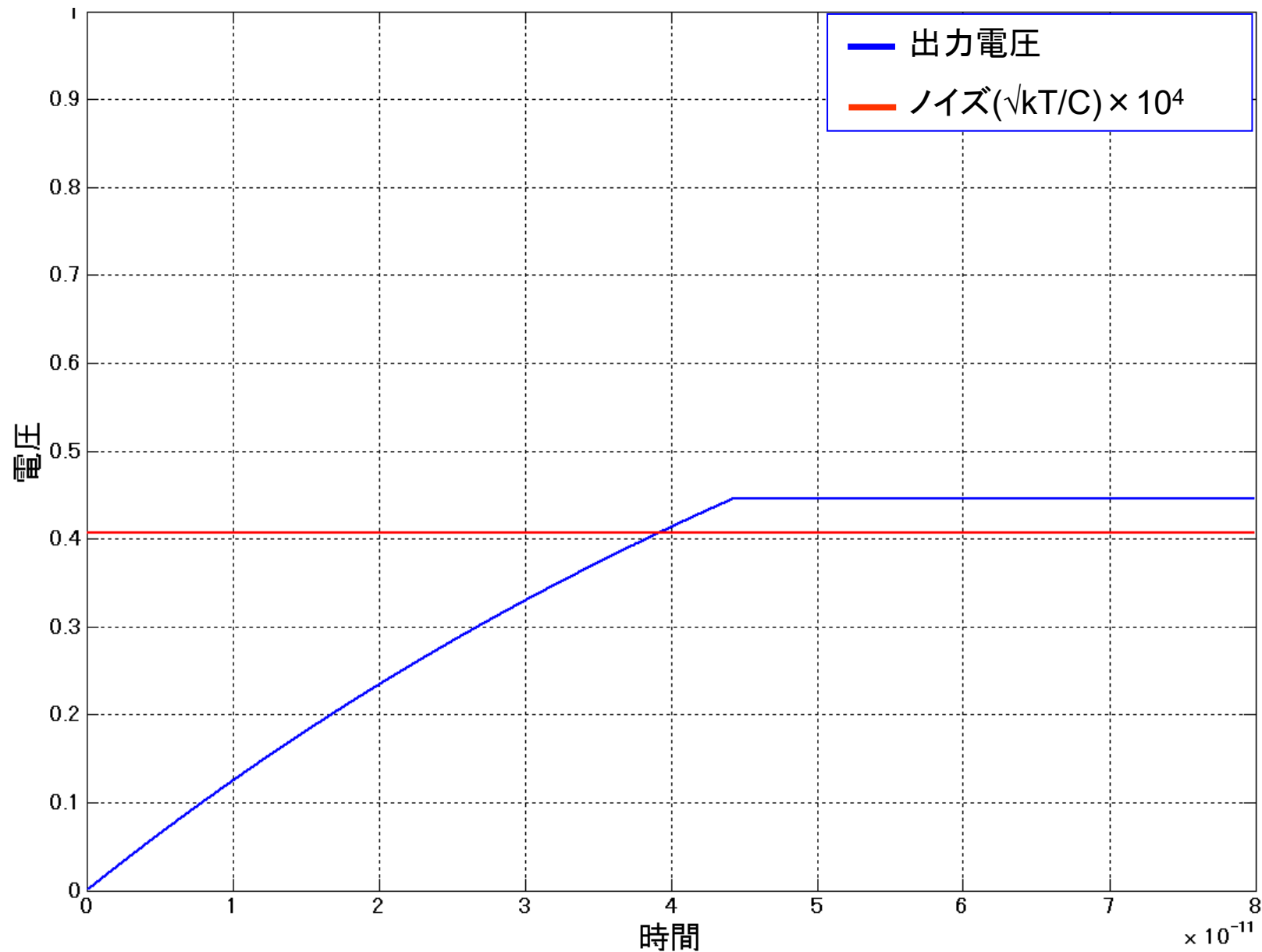
最適値の例ーストロージングー

- ある帯域のS/H回路を作る場合の指標
- 入力電圧0.1[V]、温度 $T=300$ [K]、
 $R_{SG} + R_{ON} = 30[\Omega]$ の時

帯域[GHz]	最大 SNR[dB]	最適な τ_1 [psec]	最適な C[pF]	最適な τ_2 [psec]
1	71.8	300	10.0	450
5	64.8	62	2.08	94
10	61.8	31	1.04	47
50	54.8	6	0.21	9
100	51.8	3	0.10	5

$f_{BW}=10$ [GHz], $\tau_2=87.8$ [psec], $\tau_1=16.2$ [psec]のときの出力電圧

$f_{BW}=10[\text{GHz}], \tau_2=46.8[\text{psec}], \tau_1=31.2[\text{psec}]$ のときの出力電圧

$f_{BW}=10$ [GHz], $\tau_2=44.2$ [psec], $\tau_1=75$ [psec]のときの出力電圧

まとめ

まとめ

- サンプリング回路の
帯域幅と最大SNRの関係式を導出
 - 帯域一定下で最大SNRを得る
新サンプリング技術
「ストローブサンプリング技術」
を提案
- ⇒トラックホールドサンプリングと
インパルスサンプリングの中間に位置する。

広帯域S/H回路の実現

■ 経験あるサンプリング回路技術者

T/H回路は適さない

- 歪み

インパルスサンプリング回路

- ノイズ大

中間が適すると示唆



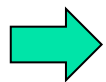
予備知識

- 高周波信号の測定 難しい
- 全くの直流信号の高精度測定 難しい

計測システムが次の影響を受ける

- 直流ノイズ(熱による特性変化)
- 低周波ノイズ($1/f$ ノイズ等)

低周波数の交流信号に変換して測定する



DC-AC変換

Accurate and Fast Testing Technique of Operational Amplifier DC Offset Voltage in μV -order by DC-AC Conversion

The 3rd International Test Conference in Asia, 2019

Gunma University

Yuto Sasaki, Kosuke Machida, Riho Aoki, Shogo Katayama
Takayuki Nakatani, Jianlong Wang, Anna Kuwana
Kazumi Hatayama, Haruo Kobayashi

ROHM Co., Ltd.

Keno Sato, Takashi Ishida, Toshiyuki Okamoto
Tamotsu Ichikawa



Purpose

To achieve high accuracy and fast testing of very small DC voltage with Automatic Test Equipment (ATE)

- Requirements
 - μV -order Testing
 - Fast Testing
- Proposed Method
 - FFT-Based DC-AC Conversion

Outline

- **Background and Motivation**
 - Conventional Test Method
 - Difficulty for μV -order Testing
- **Proposed Method**
 - FFT-Based DC-AC Conversion
 - Challenge for Multi-Site Testing
- **Conclusion**

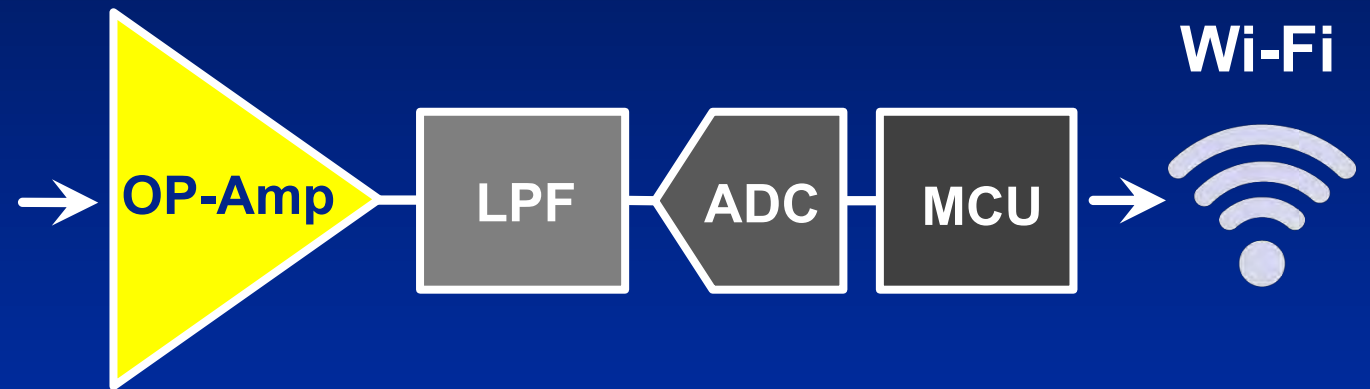
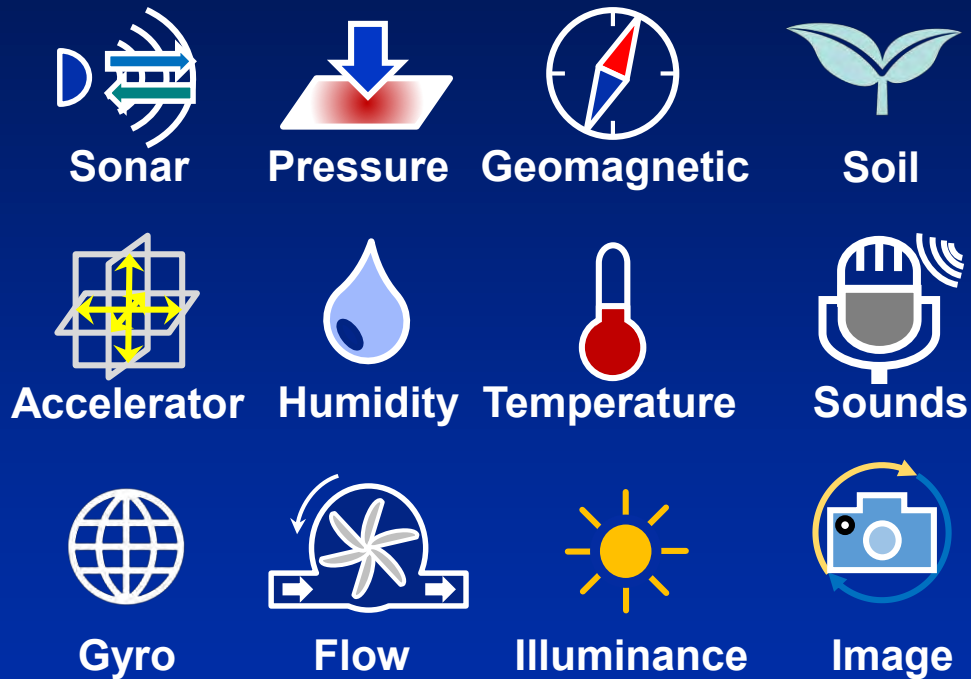
Outline

- **Background and Motivation**
 - Conventional Test Method
 - Difficulty for μV -order Testing
- **Proposed Method**
 - FFT-Based DC-AC Conversion
 - Challenge for Multi-Site Testing
- **Conclusion**

Background

IoT Sensor Network

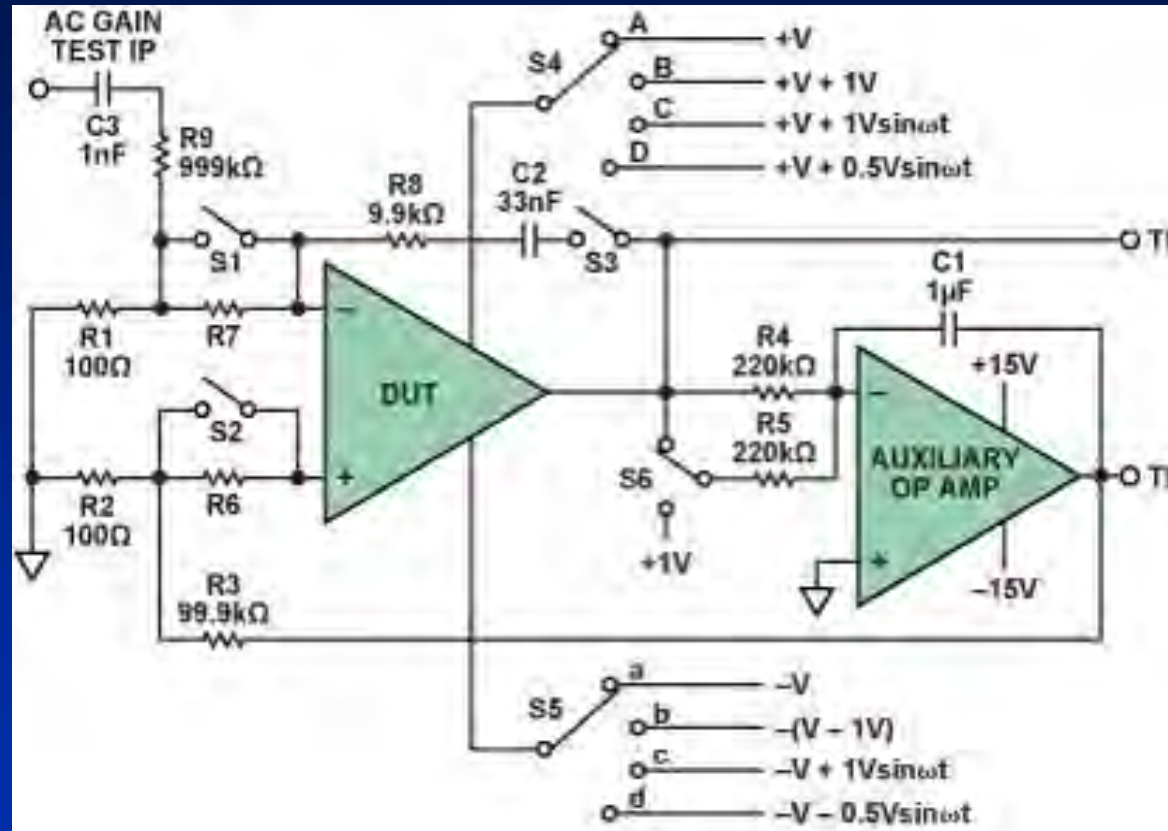
Sensor



μ V-order offset OP-Amp is a key component of IoT system

Conventional Test Method (1)

Null Method for OP-Amp Test Circuit



[1] James M. Bryant, "Simple Op Amp Measurement", Analog Dialogue, vol.45, pp 21-23 (2011)

Conventional Test Method (2)

Usage of High Accuracy Digital Multimeter



KEYSIGHT 3458A 8 ½ Digit

Outline

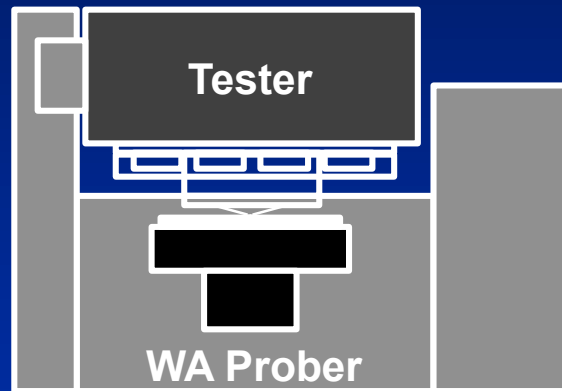
- **Background and Motivation**
 - Conventional Test Method
 - **Difficulty for μV -order Testing**
- **Proposed Method**
 - FFT-Based DC-AC Conversion
 - Challenge for Multi-Site Testing
- **Conclusion**

Difficulty for μV -order Testing

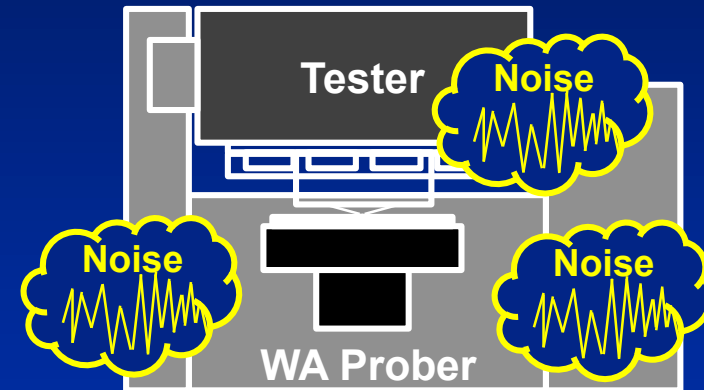
⚠ Problem

1. Noise at Test Environment

Test Environment



Actual Situation



System noises affect μV -order Testing

Difficulty for μV -order Testing (Cont'd)

⚠ Problem

2. Test Time (Multi-Site)

Single



Multi



Unrealistic Situation

Motivation

To Solve Problems

1. Noise at Test Environment

Testing

➡ NOT affected by **system noises**

2. Test Time

Testing method

➡ Applicable to **multi-site testing**

3. Electromotive Force (EMF)

Temperature difference ➡ **Less than 0.1 °C** for μV -order testing

To Propose μV -order Test Method for ATE

Outline

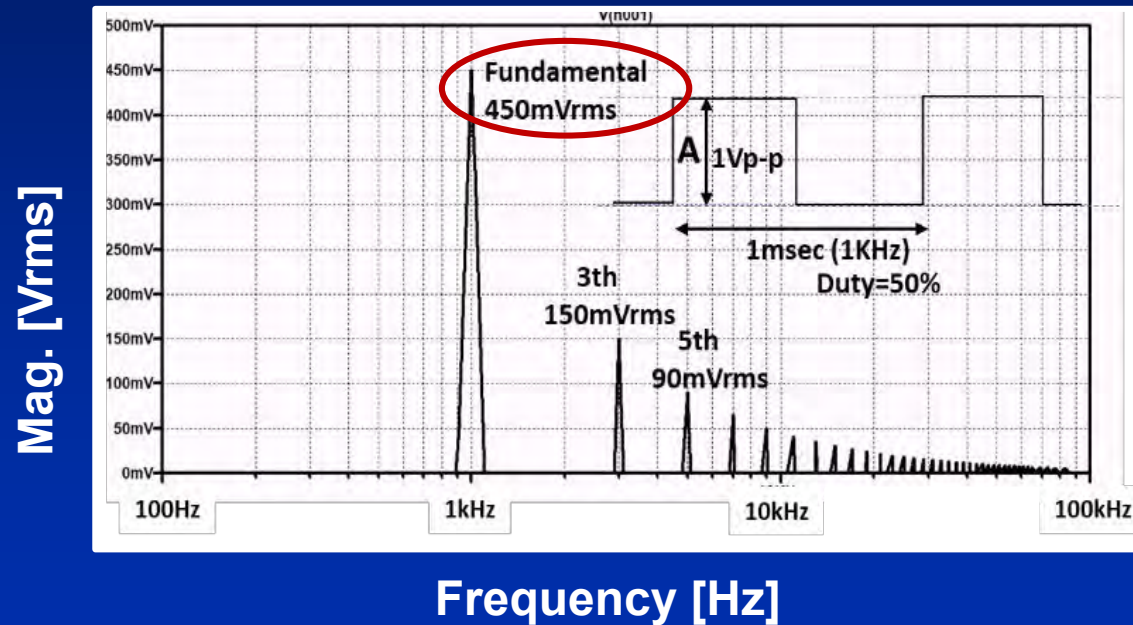
- **Background and Motivation**
 - Conventional Test Method
 - Difficulty for μV -order Testing
- **Proposed Method**
 - FFT-Based DC-AC Conversion
 - Challenge for Multi-Site Testing
- **Conclusion**

Proposed Method

FFT-Based DC-AC Conversion

DC Voltage \rightarrow AC Square Wave \rightarrow Fast Fourier Transform

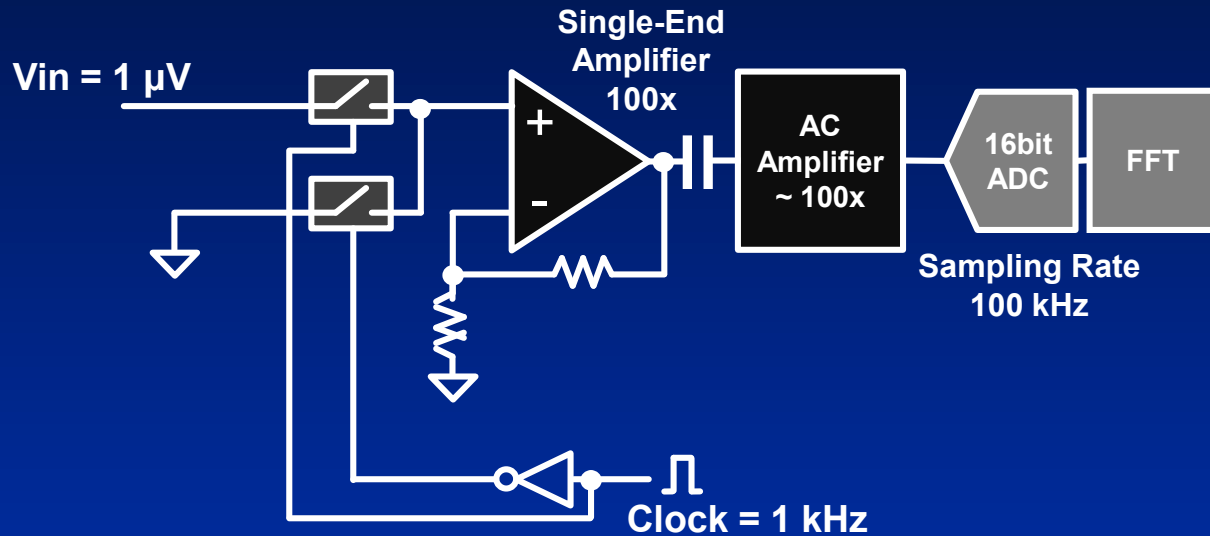
$$V(t) = \frac{2A}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$$



DC Voltage is converted to Fundamental Power Spectrum

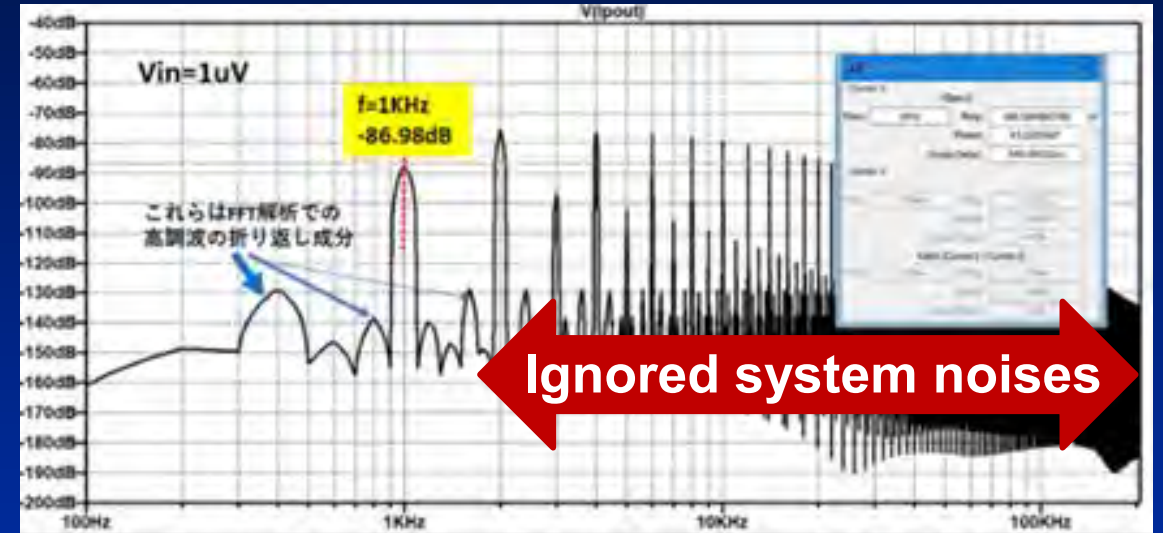
FFT-Based DC-AC Conversion (Simulation)

DC-AC Conversion Circuit



DC-AC Conversion Clock: 1 kHz (duty 50 %)
CMOS Switch: Nch FET (2N4393)

FFT Result

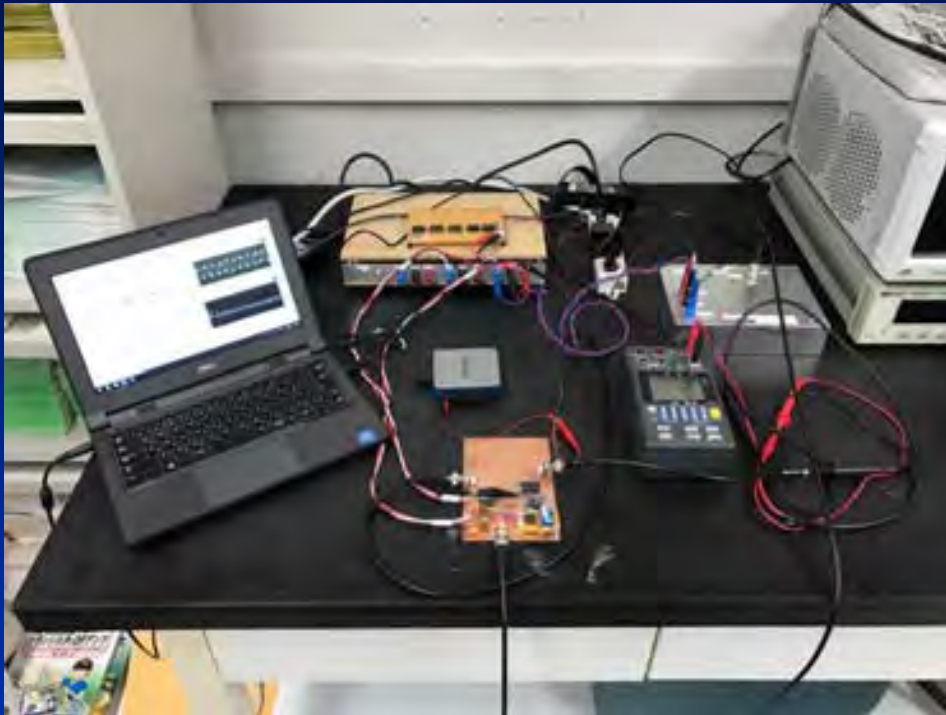


LTspice FFT Condition:
 $F_s = 409.6 \text{ kHz}$, $F_{res} = 100 \text{ Hz}$, $N = 4096$, Rectangle Window

- ✓ Measurement as low as 1 nV is possible, based on simulation
- ✓ Thanks to FFT, system noises can be ignored

FFT-Based DC-AC Conversion (Initial Experiment)

Experiment Environment



Switch: CMOS Analog SW IC (4053)

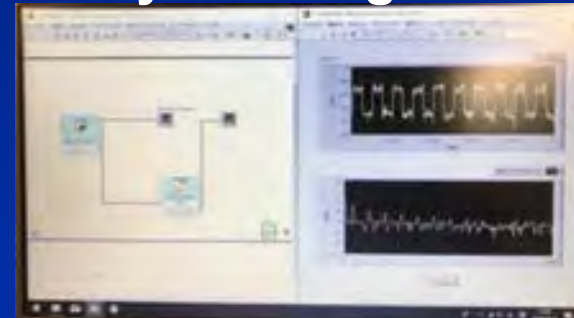
Environment

- LabVIEW
- NI USB-6001/6002/6003 (16 bit ADC)

DC-AC Conversion

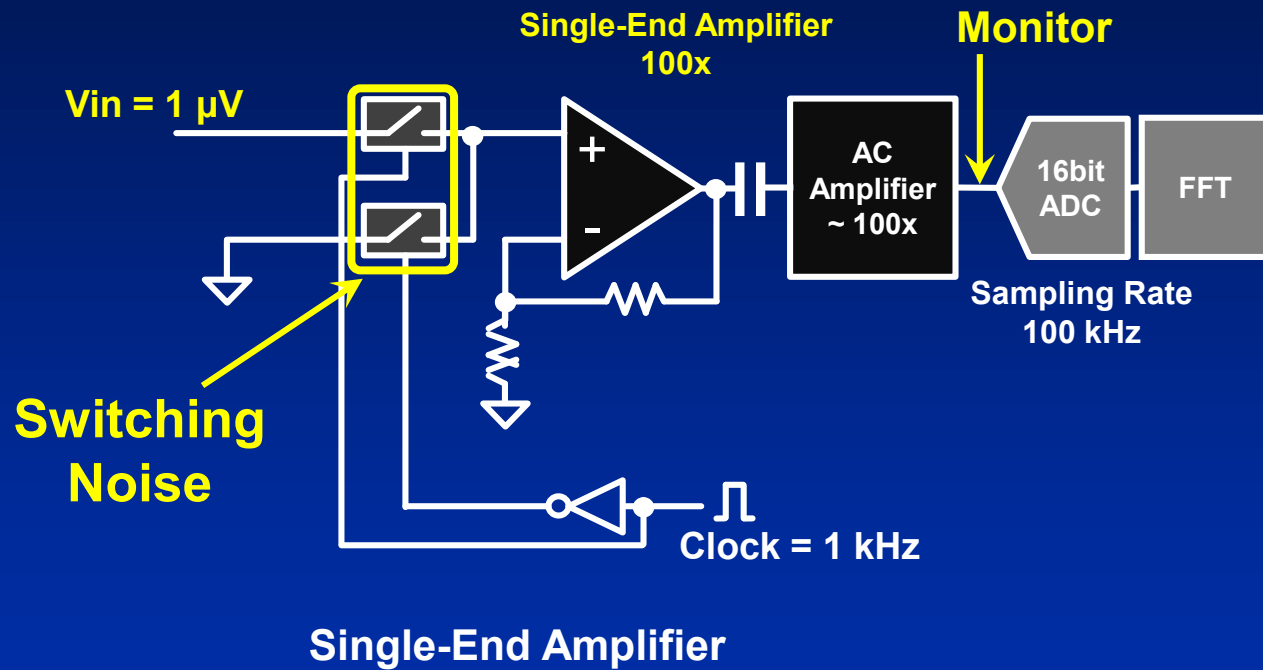


Analysis using LabVIEW

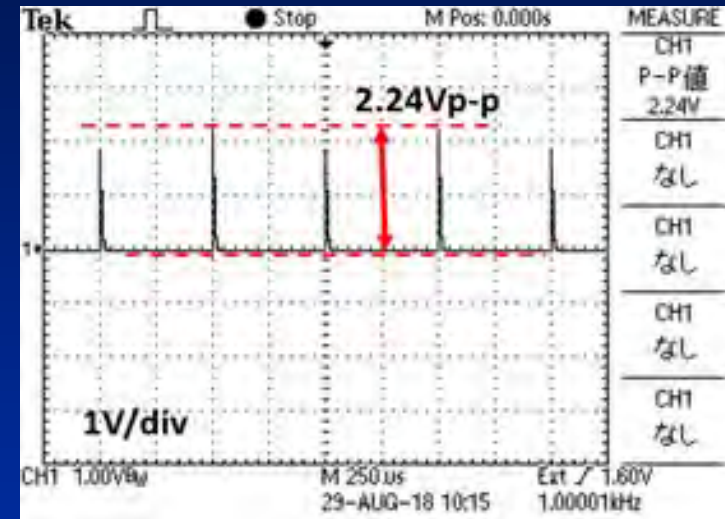


Switching Noise Problem

Initial Circuit



Monitor



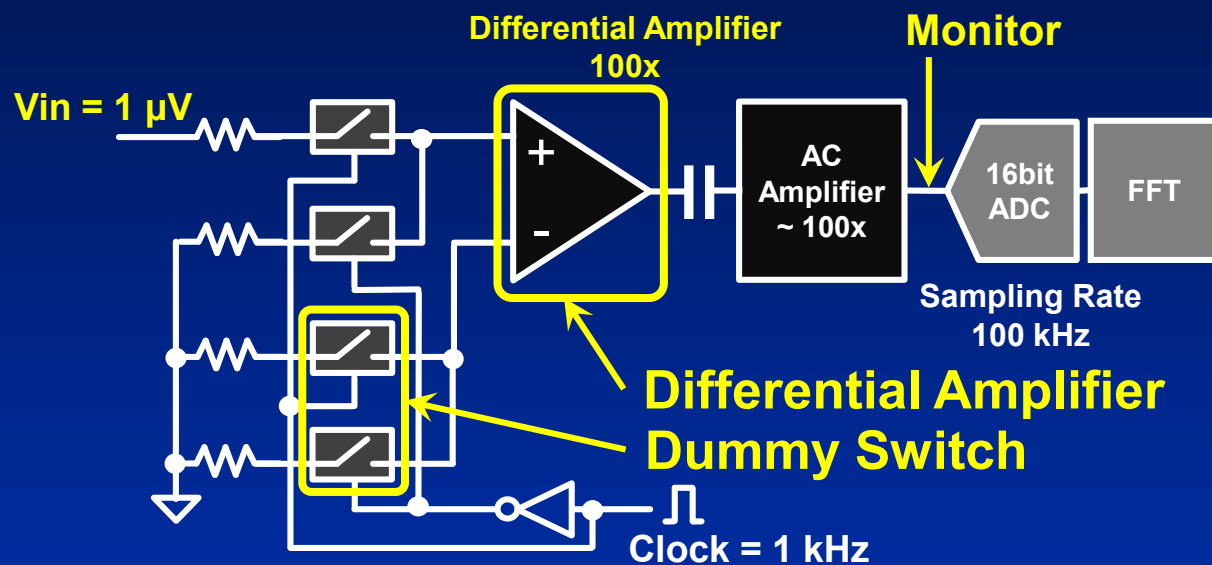
Switching Noise

Consideration of Differential Amplifier Usage

Switching Noise Countermeasure

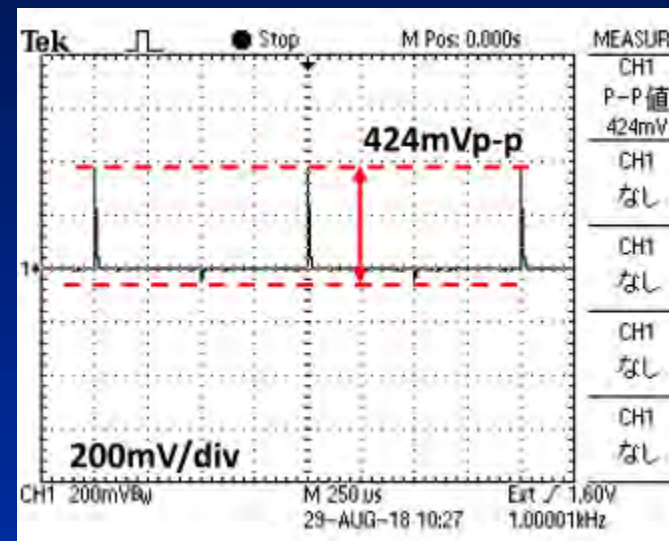
Effect of Switching Noise w/ Countermeasure

Improved Circuit



Differential Amplifier (Add Dummy Switch)

Monitor



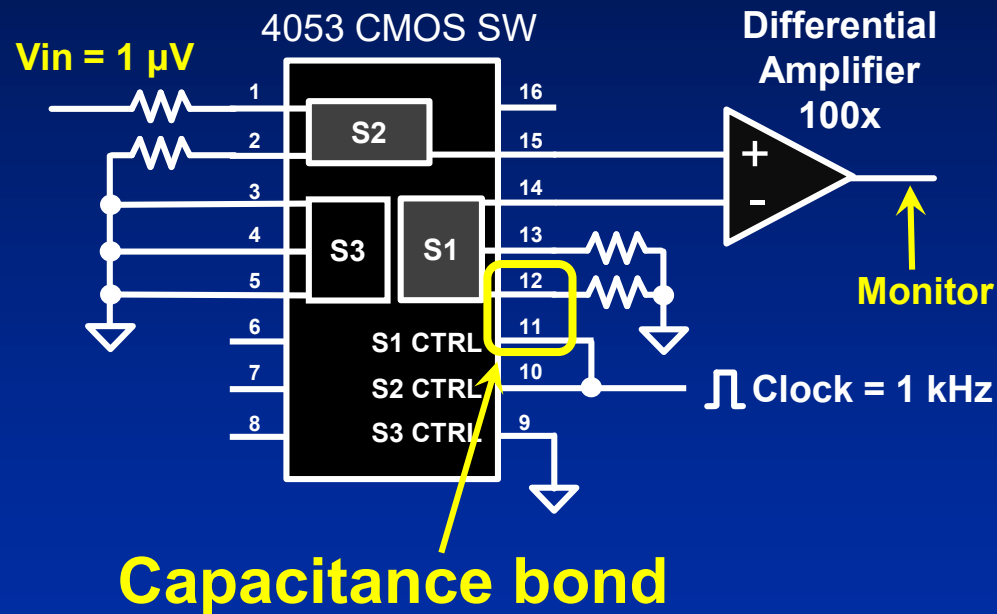
Switching Noise

Switching noise is reduced to 1/5

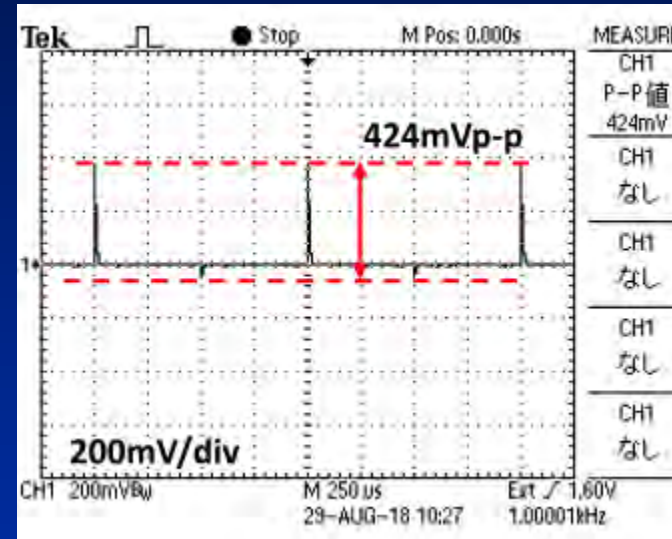
Switching Clock Leak Problem

Affect of Switching Clock Leak

Initial Circuit



Monitor



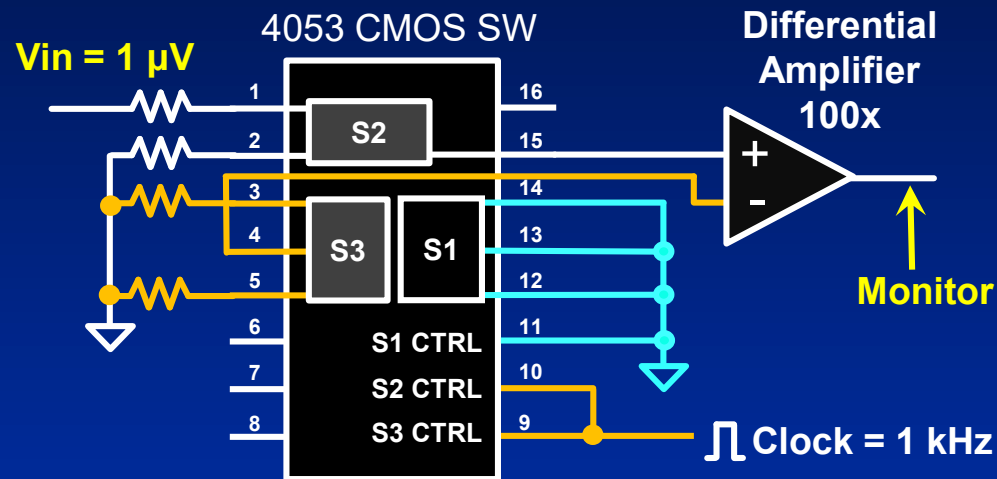
Switching Noise

Parasitic capacitance btw Pin and Pin affect switching clock leak

Switching Clock Leak Countermeasure

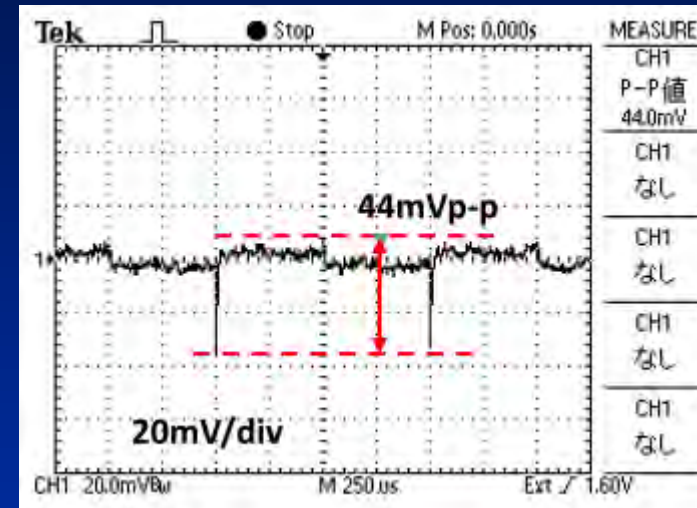
Affect of Switching Clock Leak w/ Countermeasure

Improved Circuit



Use of S3 instead of S1

Monitor

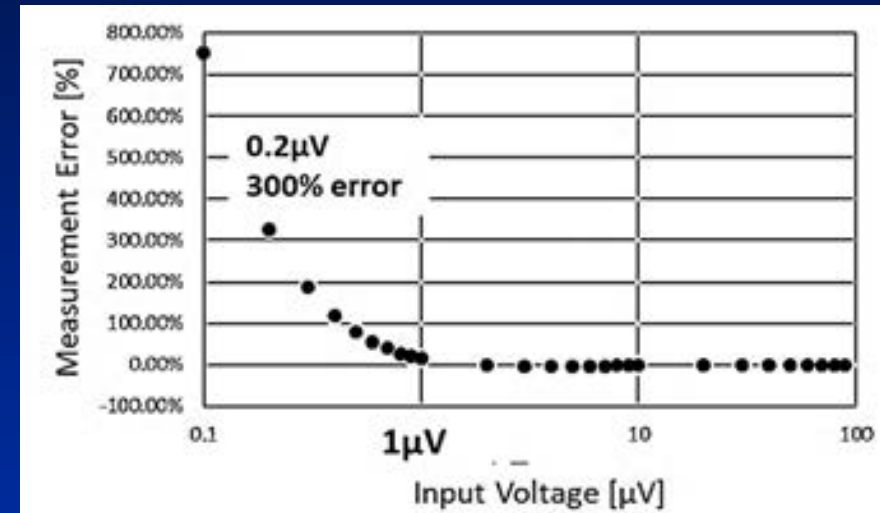
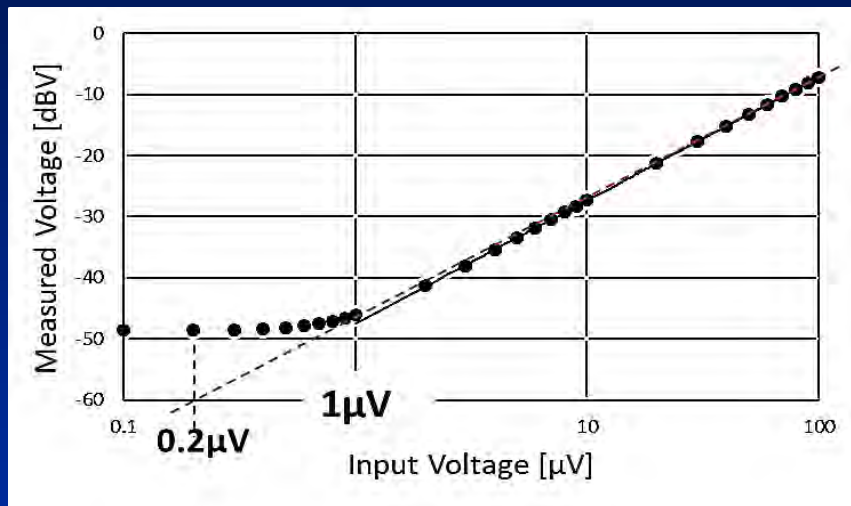


Switching Noise

Switching noise is reduced to 1/10

Measurement with Both Countermeasures

Sampling Rate: 100 kHz, Sample: 10 k, Averaging: 100, Frequency Resolution: 10 Hz



it's possible to measure as low as 2 μV

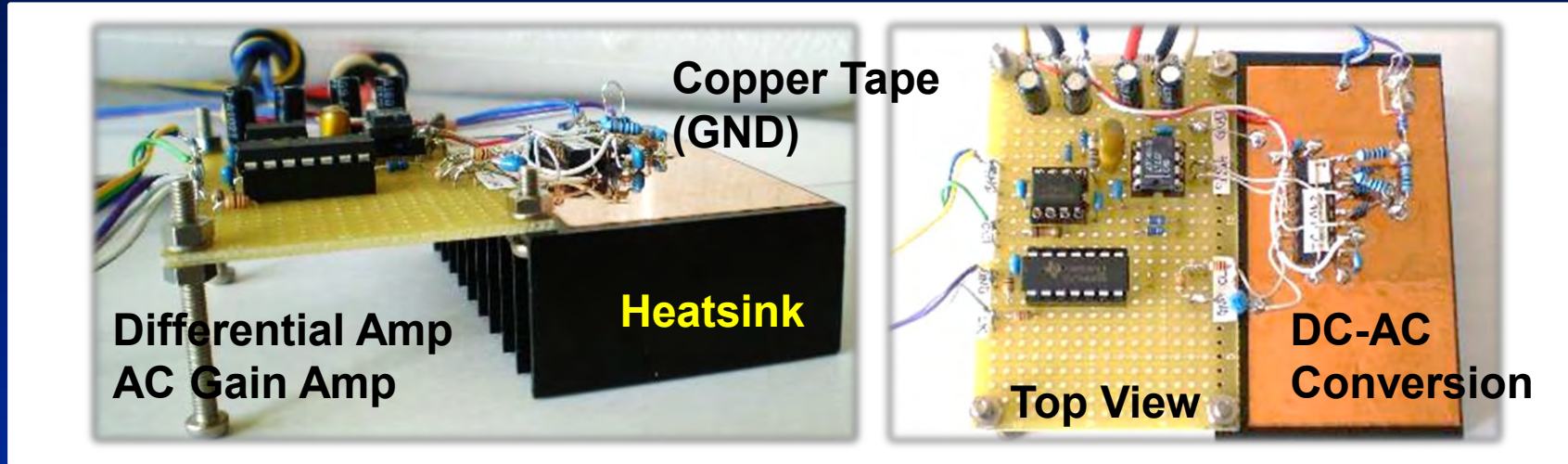


EMF countermeasure is essential for further performance

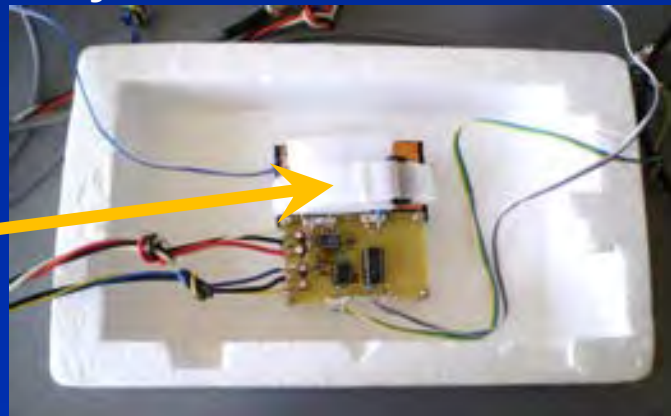
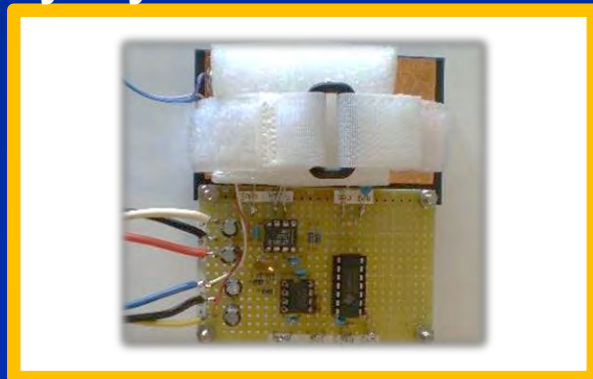
Electromotive Force (EMF) Countermeasure

EMF Countermeasure

Upside down Switch IC (4053) contact Heatsink via Copper Tape (GND)



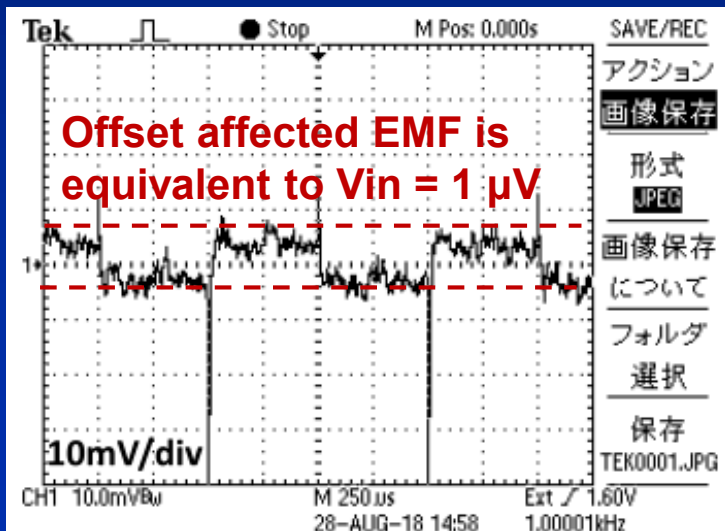
Switch IC (4053) is covered by Styrofoam



EMF Countermeasure Effectiveness

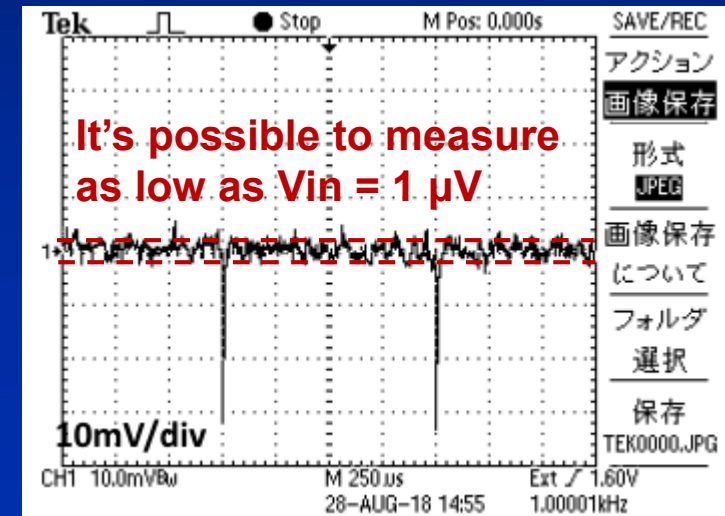
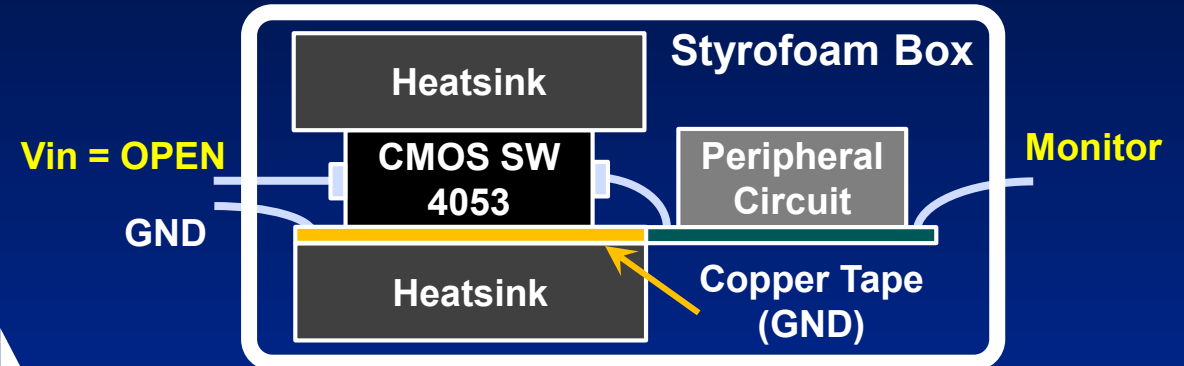
EMF Countermeasure

Initial Condition (Exposed in atmosphere)



EMF affects output

Improved Condition (Constant Temperature)



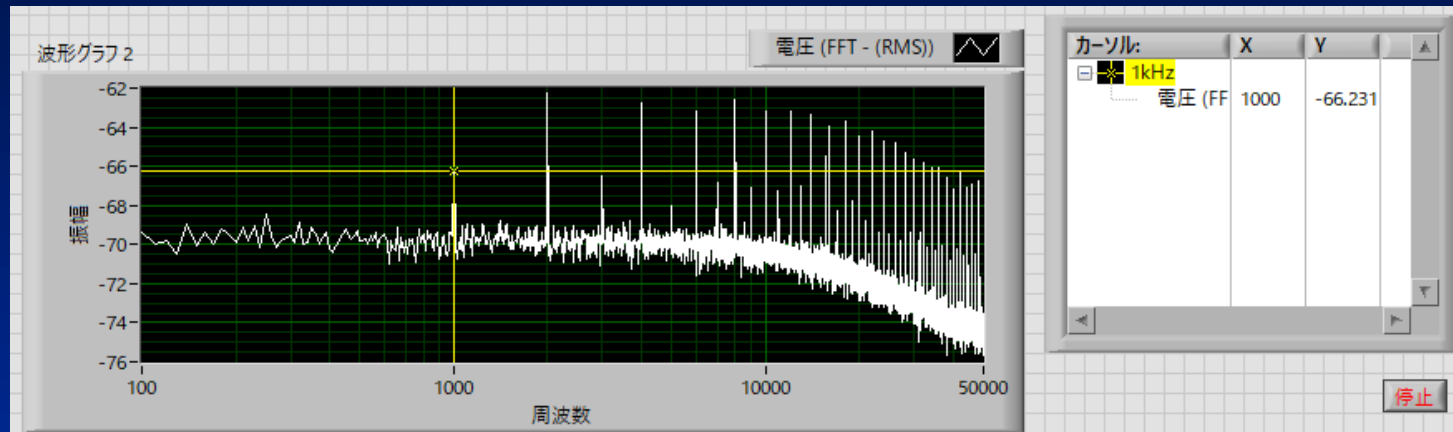
Significant Improvement

Power Spectrum with All Countermeasures

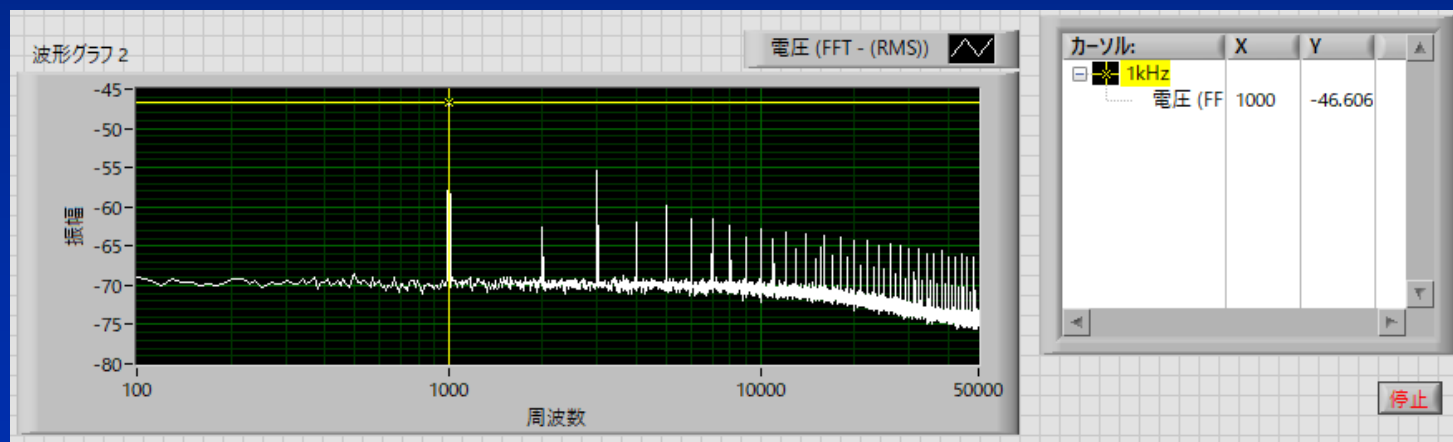
Improved Result

Sampling Rate: 100 kHz, Sample: 10 k, Averaging: 100, Frequency Resolution: 10 Hz

$V_{in} = 0 \mu V$



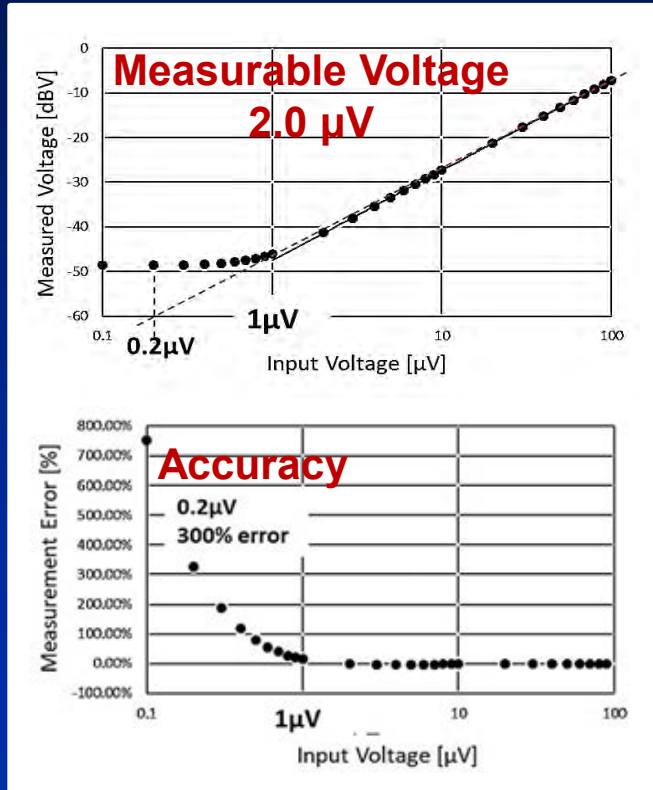
$V_{in} = 1 \mu V$



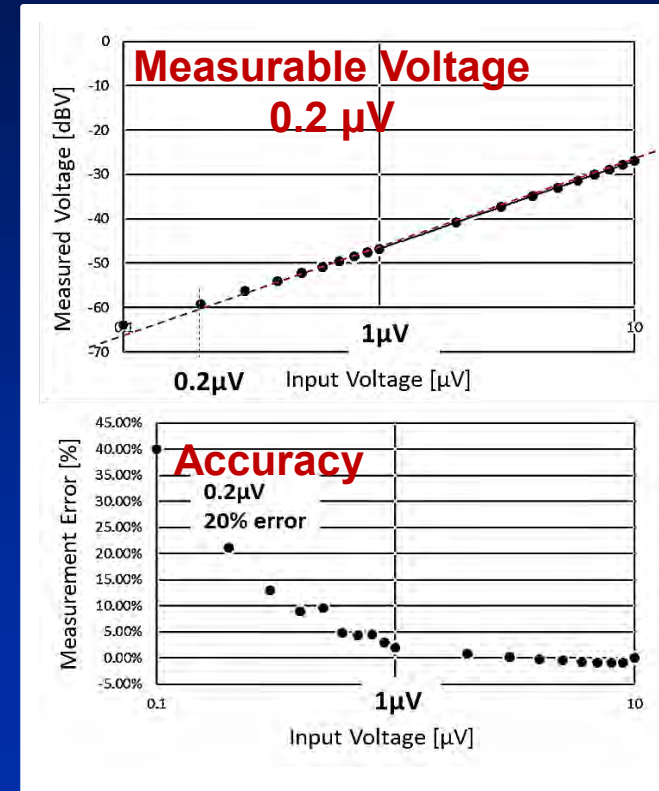
it's possible to measure $1 \mu V$

Measurement with All Countermeasures

Low voltage measurement
w/o EMF Countermeasure



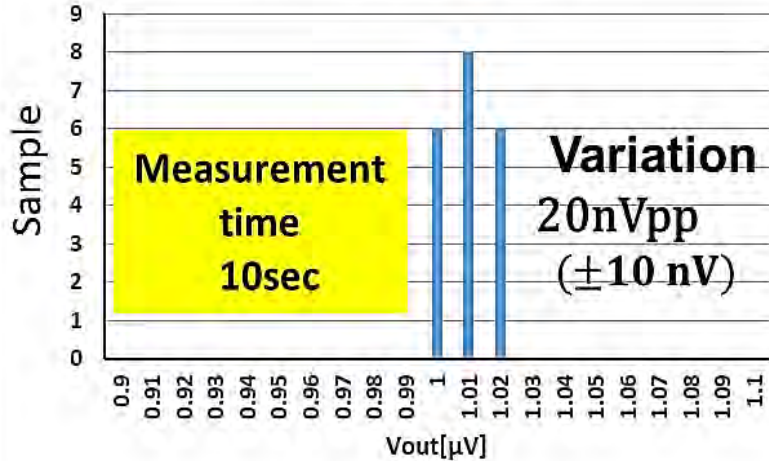
Low voltage measurement
w/ EMF Countermeasure



Linearity is improved

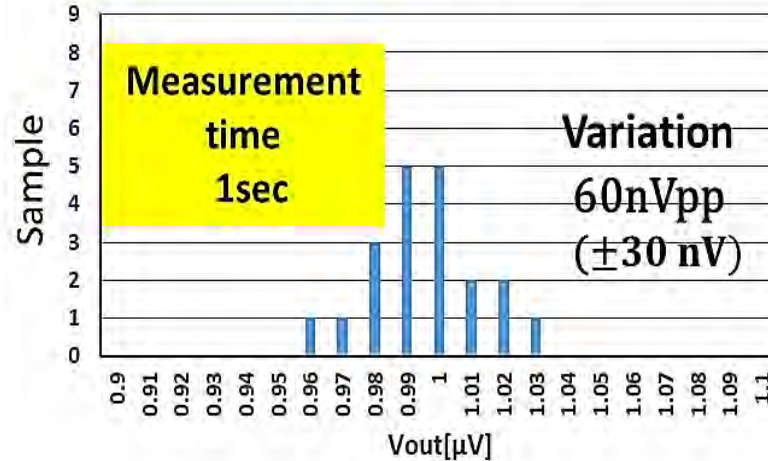
Variation and Repeatability of Measurement

100ksps,10kpoint, Average 100x



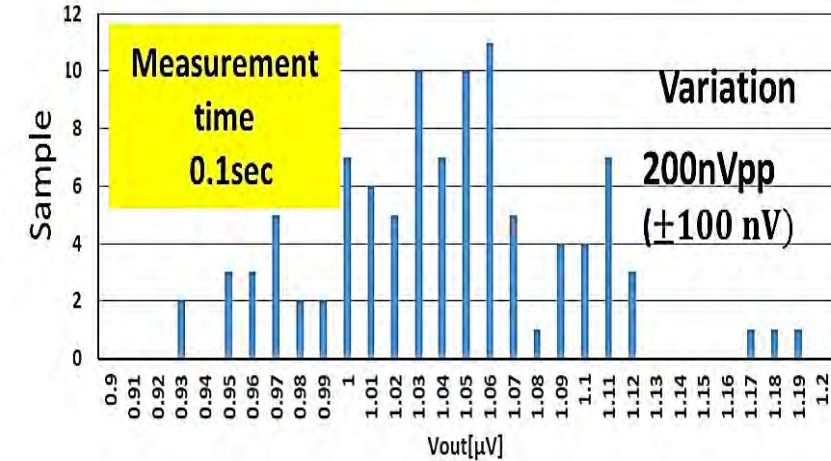
Accuracy 1 μ V \pm 1 %

100ksps,10kpoint, Average 10x



Accuracy 1 μ V \pm 3 %

100ksps,10kpoint, Average 1x



Accuracy 1 μ V \pm 10 %

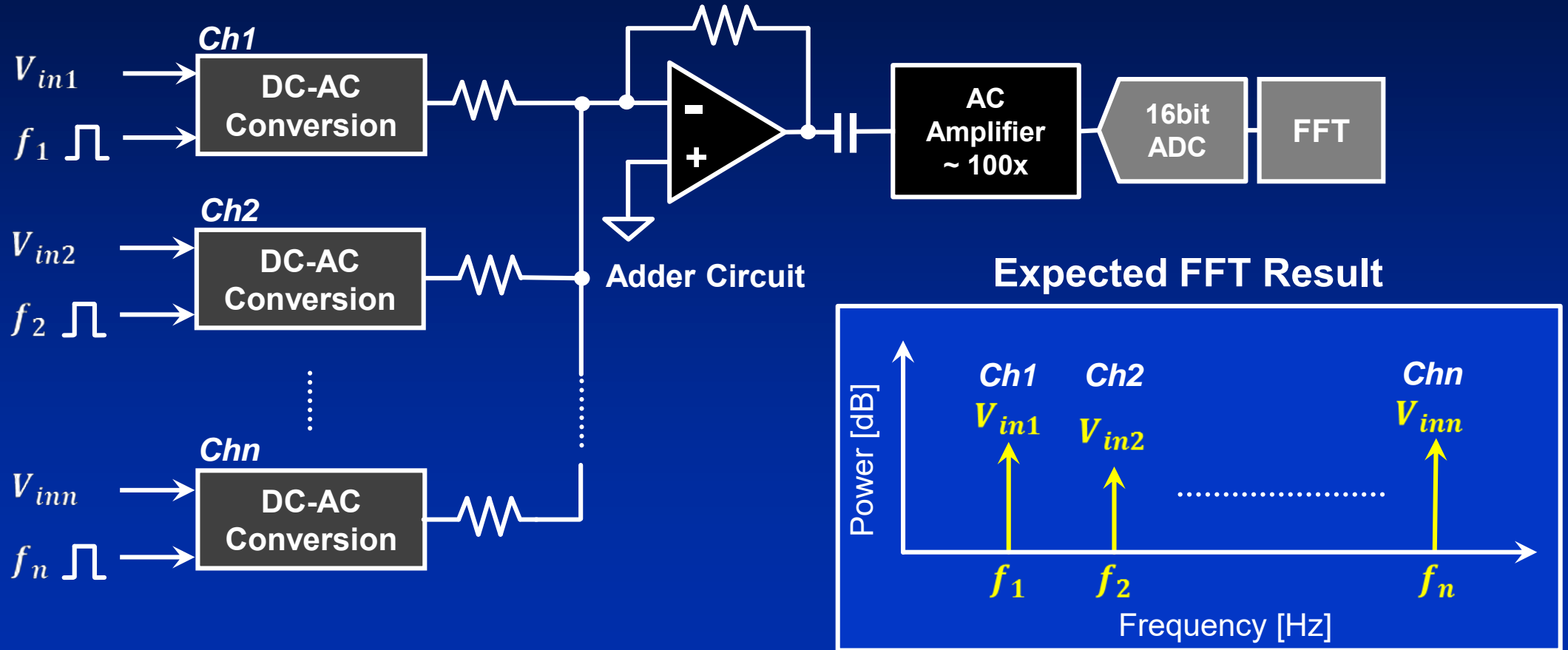
Dependent on the number of averages

Outline

- **Background and Motivation**
 - Conventional Test Method
 - Difficulty for μV -order Testing
- **Proposed Method**
 - FFT-Based DC-AC Conversion
 - Challenge for Multi-Site Testing
- **Conclusion**

FFT-Based DC-AC Conversion for Multi-Site Testing

Configuration & Operation



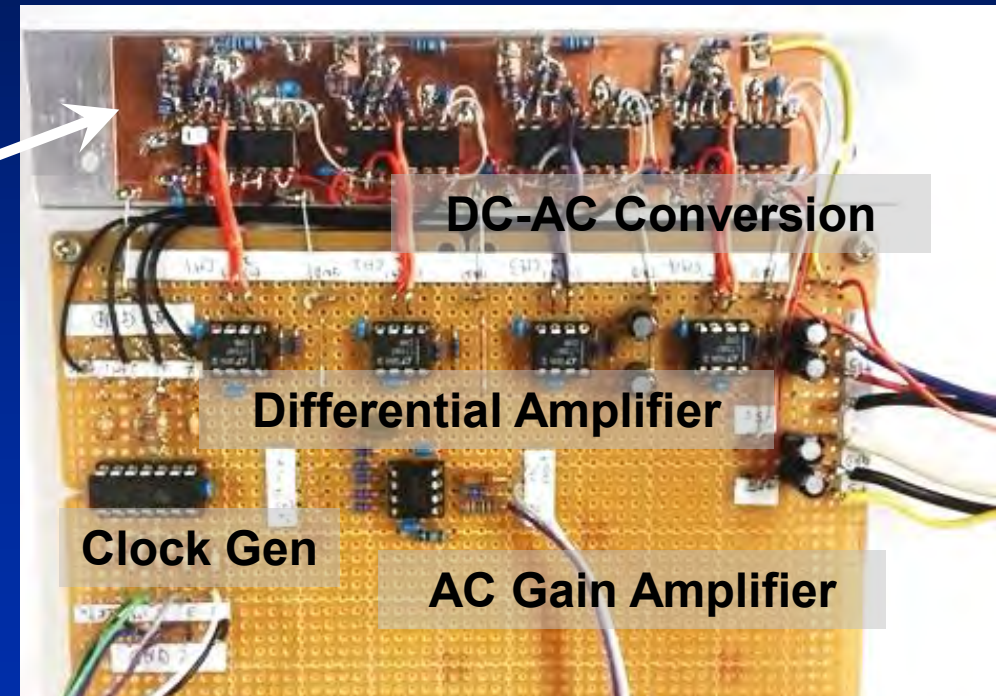
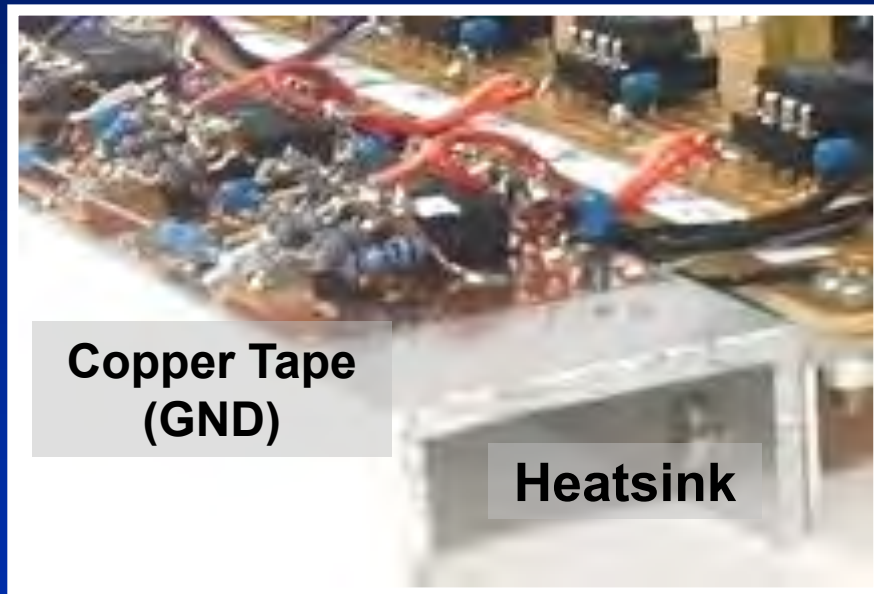
Multi-site testing is possible

Experiment Environment for Multi-Site Testing

Four-Site case

Upside down Switch IC (4053) contact Heatsink via Copper Tape (GND)

DC-AC Conversion Part



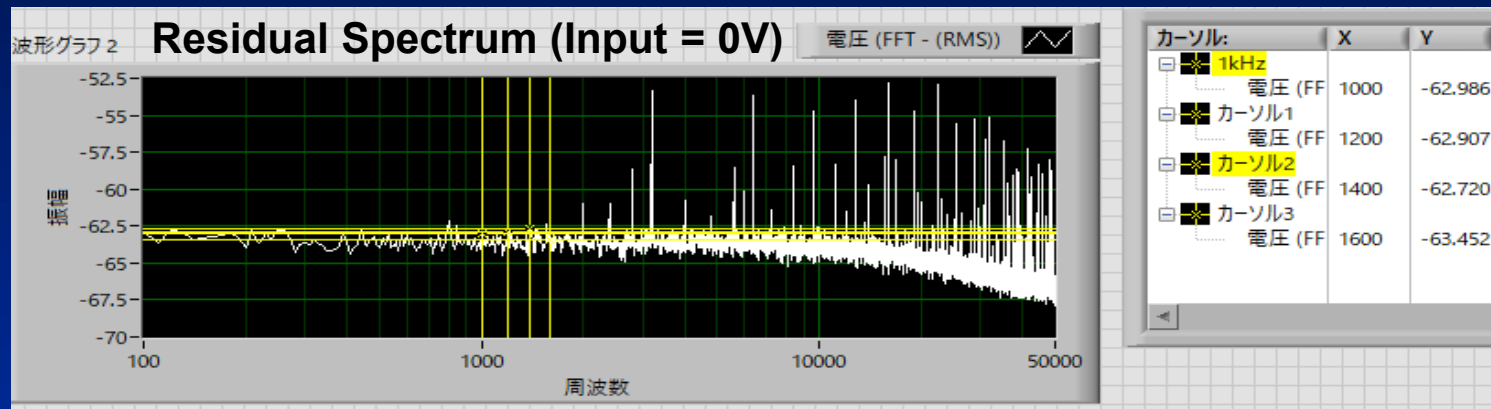
Verification with Spectrum Measurement

Four-Site Testing Measured Spectrum

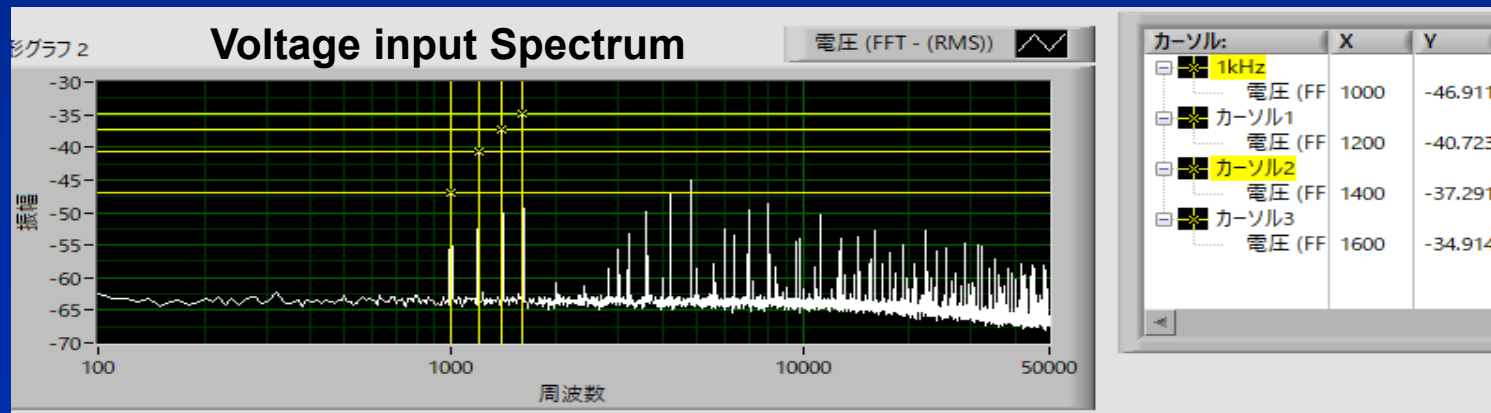
Sampling Rate: 100 kHz , Sample: 10k, Averaging: 100, Frequency Resolution: 10 Hz

Ch1 =1.0 kHz, Ch2 = 1.2 kHz, Ch3 = 1.4 kHz, Ch4 = 1.6 kHz

Vin1 = 0 V
Vin2 = 0 V
Vin3 = 0 V
Vin4 = 0 V



Vin1 = 1 μ V
Vin2 = 2 μ V
Vin3 = 3 μ V
Vin4 = 4 μ V

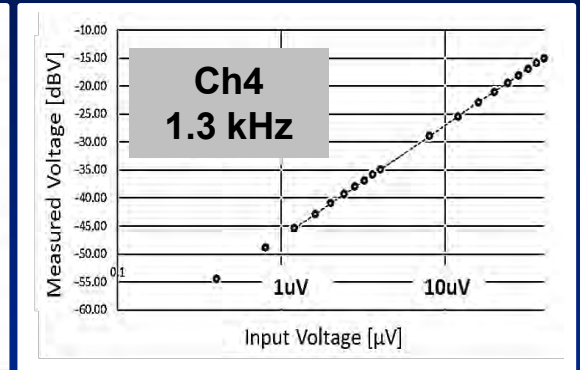
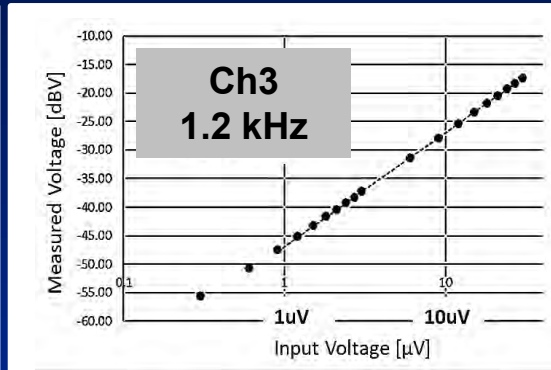
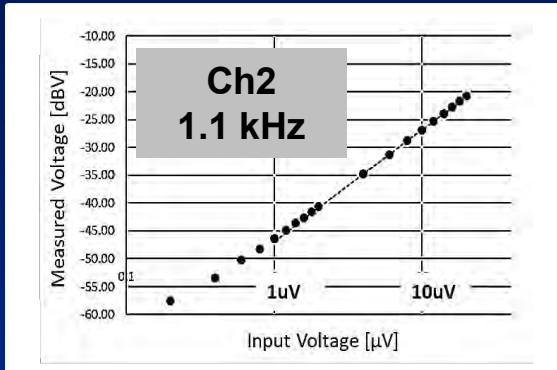
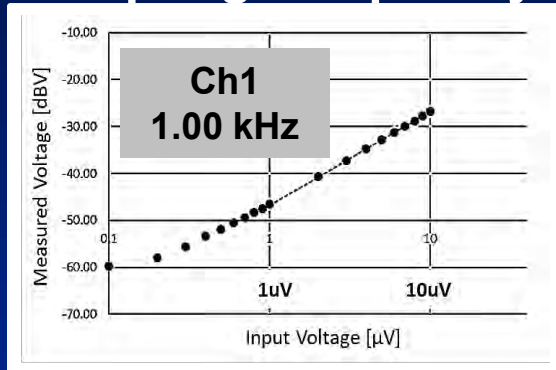


Multi-site testing is applicable

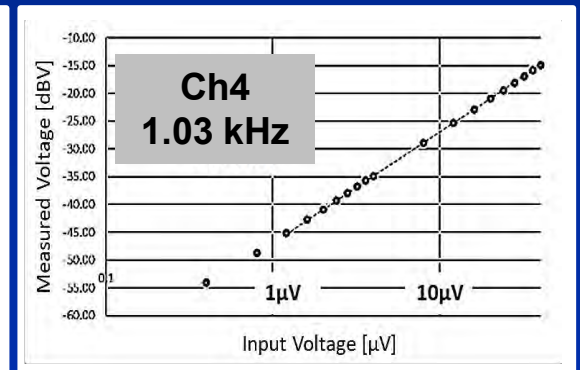
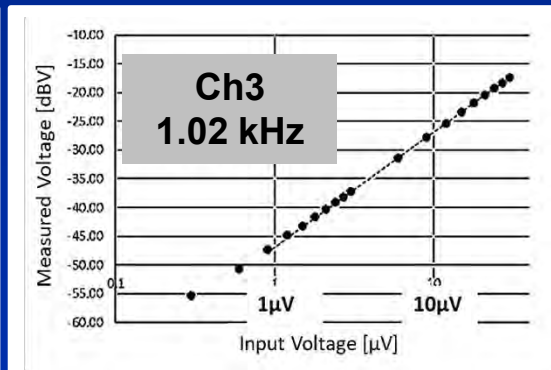
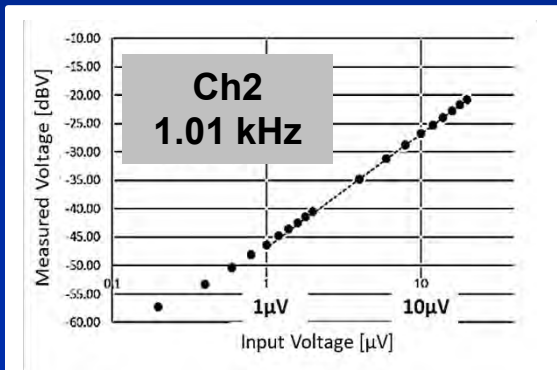
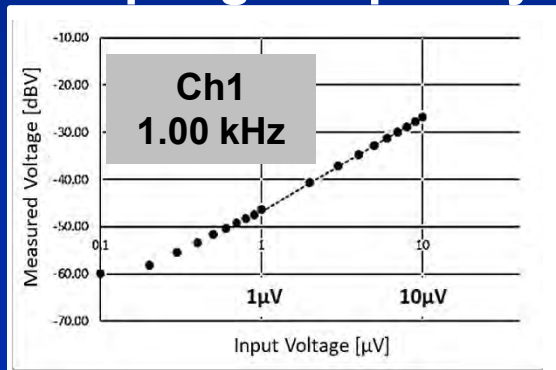
Verification with Linearity Measurement

Four-Site Testing

Sampling Frequency Interval: 0.1 kHz



Sampling Frequency Interval: 0.01 kHz



Four-site measurement as low as 0.2 μ V is possible

Outline

- **Background and Motivation**
 - Conventional Test Method
 - Difficulty for μV -order Testing
- **Proposed Method**
 - An FFT-Based DC-AC Conversion
 - Challenge for Multi-Site Testing
- **Conclusion**

Conclusion

Solved Problems

1. Noise at Test Environment

Testing is NOT affected by system noises

2. Test Time

Testing method is applicable to multi-site testing

3. Electromotive force (EMF)

Keep temperature difference less than $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ for μV -order testing

Proposed FFT-based DC-AC conversion is applicable for μV -order test using ATE

Q&A

- Is the EMF Seebeck effect?
 - Yes.
- How about a throughput of the test? It seems to need a time for steady temperature of changed DUT against EMF.
 - No problem because temperature of test environment is under control. In addition, temperature difference is no effect except between resistors in a DC-AC conversion circuit.

ひずみ測定ブリッジ回路の 寄生容量影響の除去手法

群馬大学工学部 電気電子工学科

須永 浩誌 光野 正志 ○田浦 哲也 木村 圭吾

森村 直正† 岡野 晴樹†† 岩崎 正美††

宅野 弘行†† 鈴木 光正†† 小林 春夫

† : コンサルタント

†† : 東京測器研究所

発表内容

1. 研究背景・目的
2. ひずみ測定の調査
 - 2.1. ひずみ測定
 - 2.2. ひずみゲージによる荷重計の設計・試作・評価
3. 高精度交流型動ひずみ測定回路
 - 3.1. 現状の問題点の摘出
 - 3.2. 問題解決の提案
4. まとめ・今後の課題

発表内容

- ▶ 1. 研究背景・目的
- 2. ひずみ測定の調査
 - 2.1. ひずみ測定
 - 2.2. ひずみゲージによる荷重計の設計・試作・評価
- 3. 高精度交流型動ひずみ測定回路
 - 3.1. 現状の問題点の摘出
 - 3.2. 問題解決の提案
- 4. まとめ・今後の課題

研究背景

ユビキタス化に伴ってセンサの需要が増加

□センサ

□センサ回路

□センサネットワーク

□センサフュージョン

複数のセンサ機能の融合

人間の五感相互

研究目的

- 車載用等への適用により**センサ技術**が産業的・技術的に関心を集めている

GMR回転角
センサ



・クランク角検知
センサ

圧力センサ



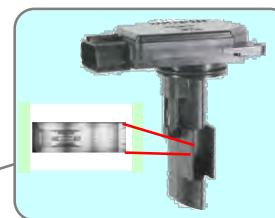
・油圧制御用圧力センサ
・ターボ加給圧センサ
・大気圧センサ
・タイヤ圧センサ



角速度センサ

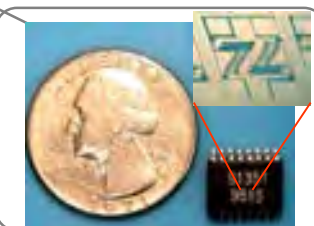


・車両安定性制御
・ロールオーバー制御



空気流量
センサ

・EFI燃料制御
(A/F制御)



加速度
センサ

・エアバッグ用加度
センサ
・車両安定性制御
・サスペンション制御
・ナビゲーションシステム

研究目的

- 車載用等への適用により**センサ技術**が産業的・技術的に関心を集めている

GMR回転角
センサ



空気流量
センサ

圧力セン

高精度計測技術への挑戦！

- ・油圧制御用圧力センサ
- ・ターボ加給圧センサ
- ・大気圧センサ
- ・タイヤ圧センサ



- ・車両安定性制御
- ・ロールオーバー制御

- ・エアバッグ用加度センサ
- ・車両安定性制御
- ・サスペンション制御
- ・ナビゲーションシステム

研究目的

車載用等で実績を持つ
ひずみ測定技術に着目

その中でも評価の高い
交流型動ひずみ測定
について調査

交流型動ひずみ測定回路の高精度化の実現

発表内容

1. 研究背景・目的

2. ひずみ測定の調査



2.1. ひずみ測定

2.2. ひずみゲージによる荷重計の設計・試作・評価

3. 高精度交流型動ひずみ測定回路

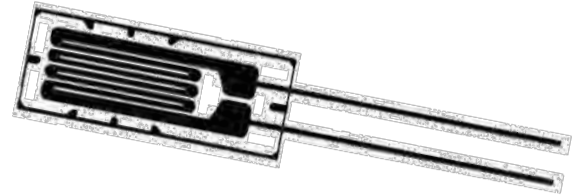
3.1. 現状の問題点の抽出

3.2. 問題解決の提案

4. まとめ・今後の課題

ひずみ測定とは

ひずみ計測にはひずみゲージセンサを用いる



ひずみゲージ:
物体の微小な伸び縮みを測定する**センサ**

性能

100万分の1の
分解能が要求される

ひずみゲージセンサ



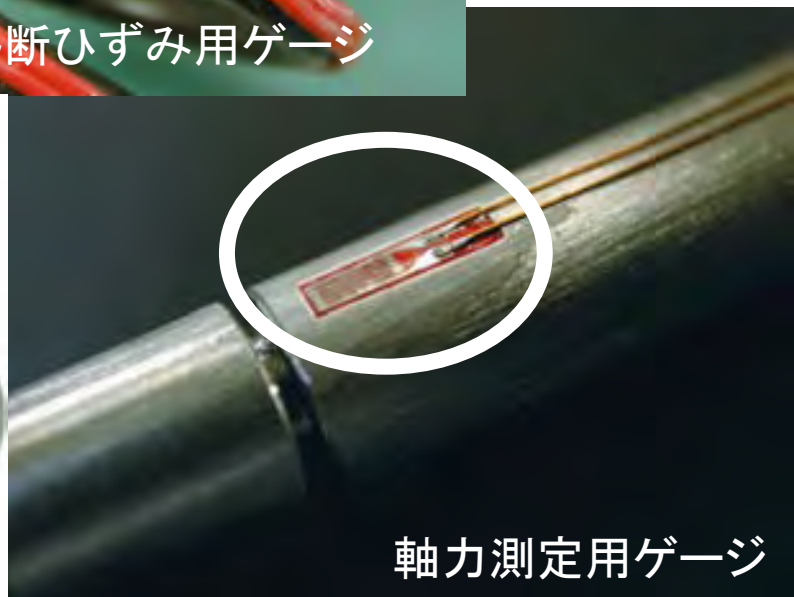
□ 薄い基板の上に箔型の抵抗体を形成

- a. 測定対象物にゲージを接着
- b. 物体の変形に伴いゲージの抵抗も変化
- c. 抵抗変化の測定によりひずみを検知

ひずみ測定の使用例

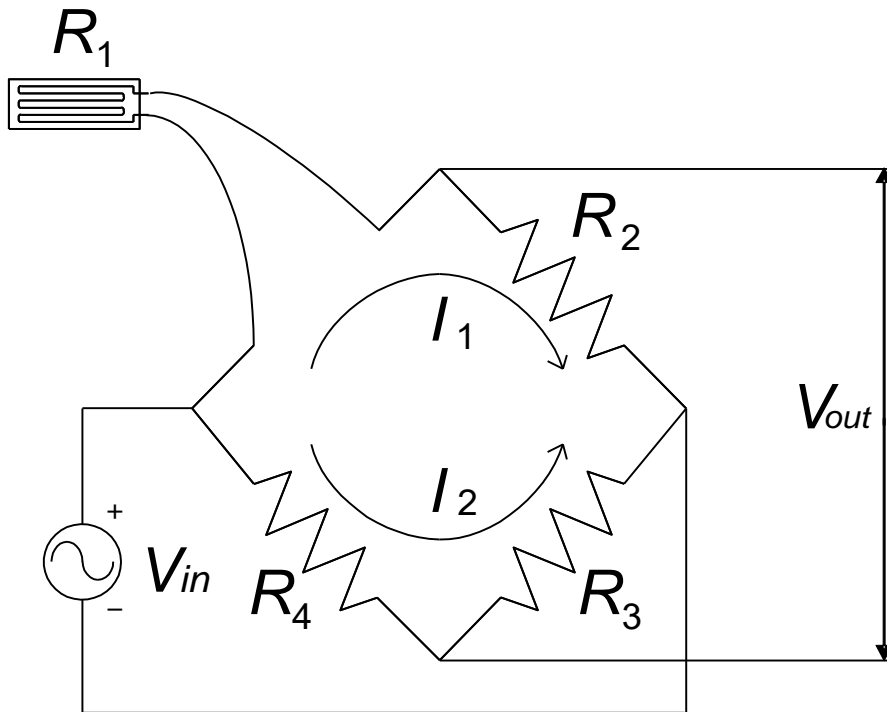
一般的に知られることは少ないが、様々な分野で活躍

- ◆自動車
 - ◆航空機
 - ◆建設・土木産業
 - ◆産業機械分野
- 等での実績を持つ



測定用センサ回路

- ホイートストンブリッジ回路にひずみゲージを用いる
- ゲージの抵抗変化を電気信号に変換してひずみ量を得る

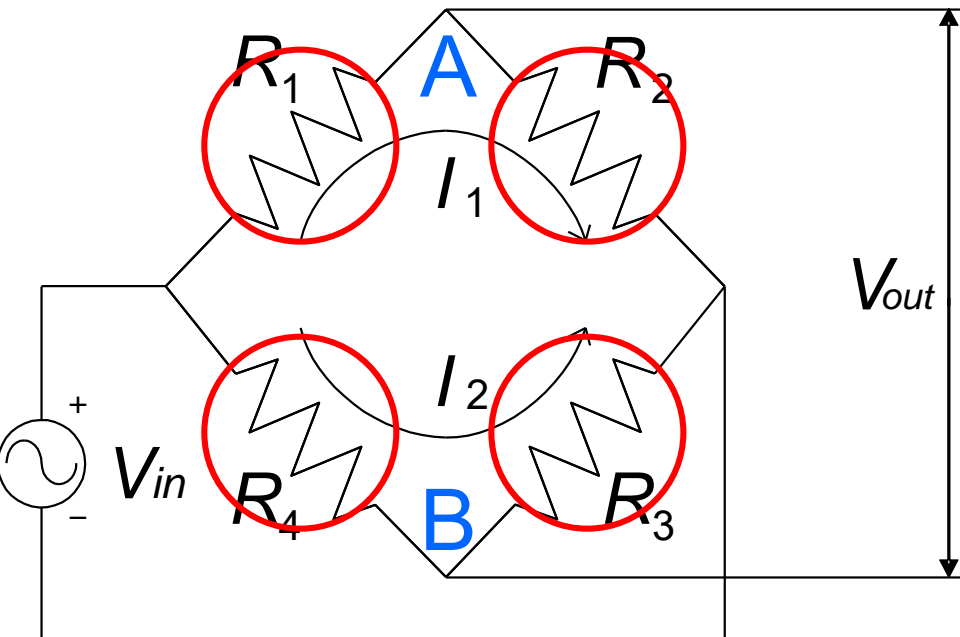


ホイートストンブリッジ回路

ひずみの表し方

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta L}{L} = \text{マイクロストレイン}[\mu\varepsilon] \\ 1\mu\varepsilon = 1 \times 10^{-6} m/m = 1ppm \\ (\text{parts-per-million; 百万分率}) \end{array} \right.$$

ひずみ検出の原理



測定用途に応じて各抵抗辺に
ひずみゲージを用いる

ホイートストンブリッジ
出力電圧

$$V_{out} = \left(\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{in}$$

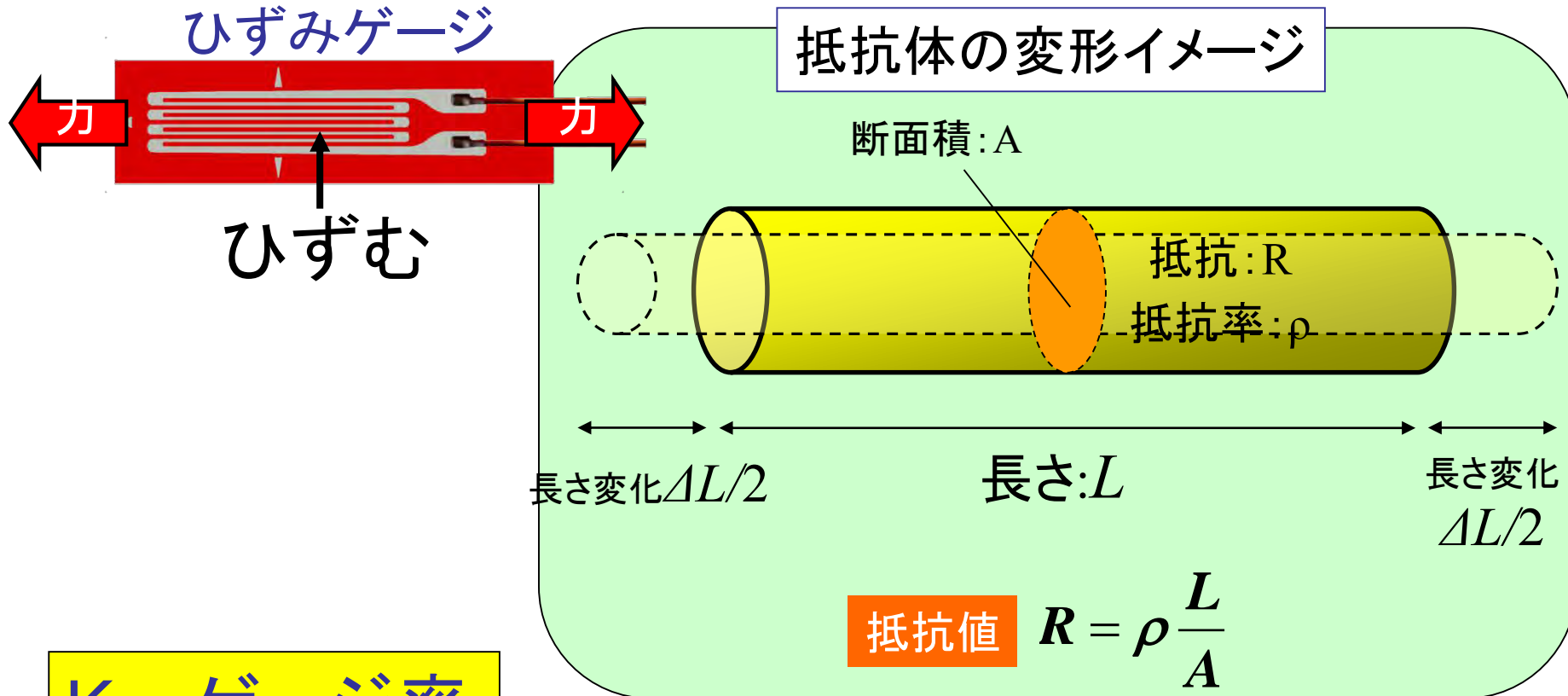
平衡条件

$$R_1 R_3 = R_2 R_4 \text{ のとき } V_{out} = 0$$

初期条件

- ゲージ抵抗が変化すると平衡が崩れる
- AB間に電位差が生じ、そこからひずみ量を得る

ひずみ



K : ゲージ率

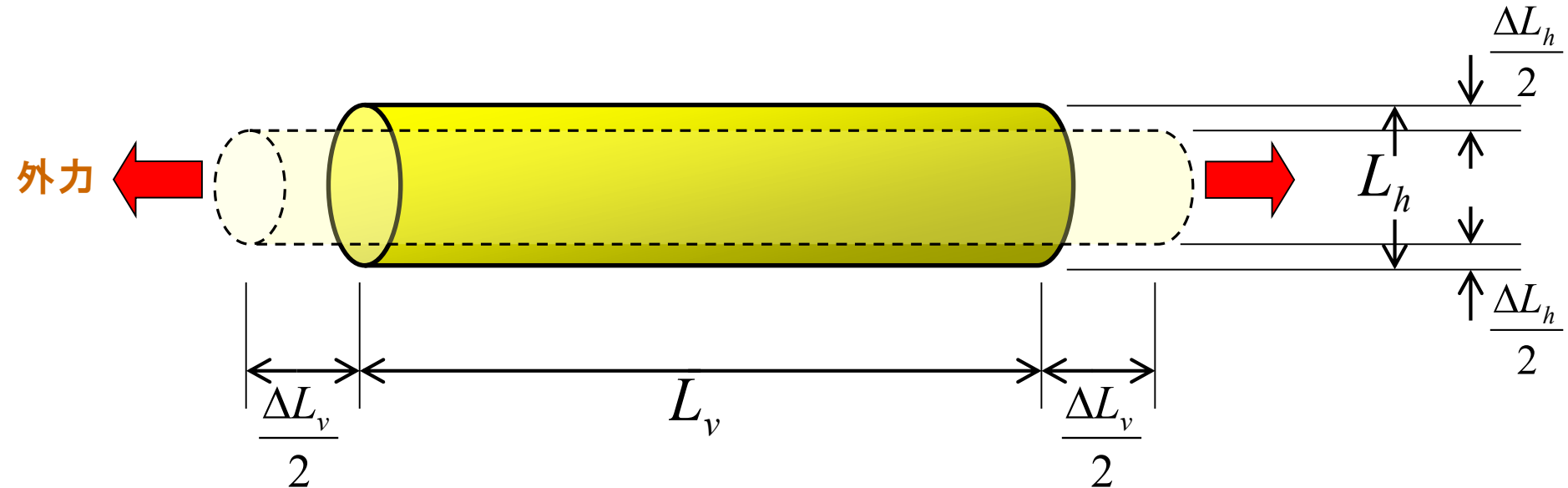
金属の場合: 2~4.5

(通常は2で計算)

半導体の場合: 150以上

$$\boxed{\text{ひずみ } \varepsilon} = \frac{\Delta L}{L} = \frac{1}{K} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

ポアソン比 (縦・横ひずみ比)



縦ひずみ $\varepsilon_v = \frac{\Delta L_v}{L_v}$

横ひずみ $\varepsilon_h = \frac{\Delta L_h}{L_h}$

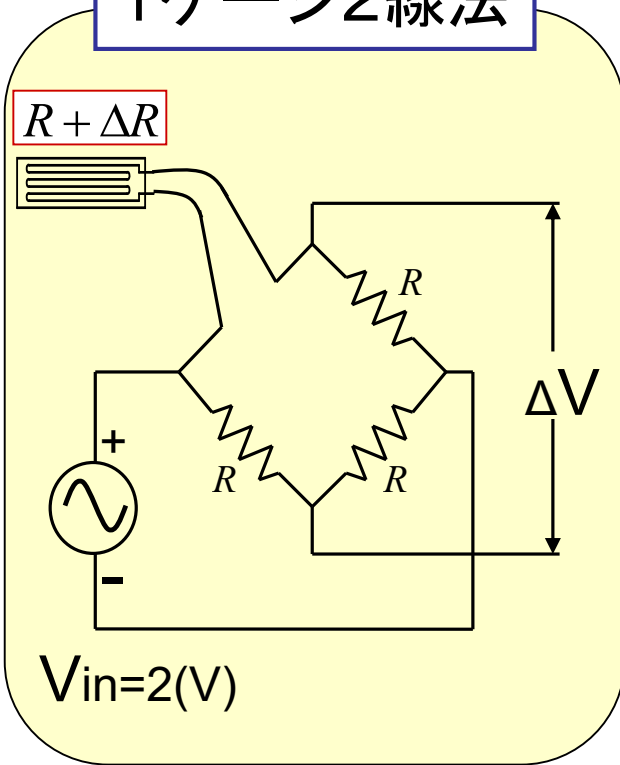
ポアソン比 $\sigma = \frac{\varepsilon_h}{\varepsilon_v}$

金属の場合0.3
通常この値で計算

ゲージ率Kとポアソン比 σ は物質による定数

測定用ブリッジ回路の基本構成

1ゲージ2線法



(一般的にはゲージ率2.00、入力電圧2.00V)

$R_1=R_2=R_3=R_4=R$ 、
としたとき、出力電圧 ΔV は一般式より

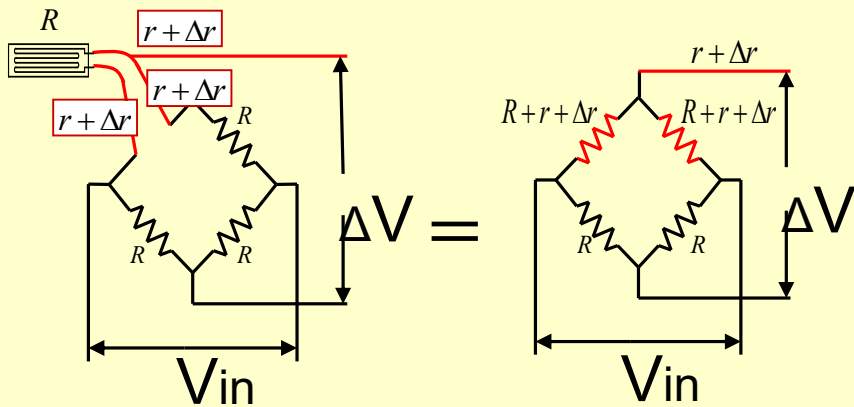
$$\Delta V = \frac{\Delta R}{2R + \Delta R} = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{2 + \frac{\Delta R}{R}} \quad \dots (1)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \varepsilon \quad \text{より} \quad \Delta V = \frac{2\varepsilon}{2 + 2\varepsilon} \quad \dots (2)$$

$$(2) \text{式より} \quad \varepsilon = \frac{\Delta V}{1 - \Delta V} \quad \Delta V \ll 1(V) \quad \text{のとき} \quad \varepsilon \doteq \Delta V$$

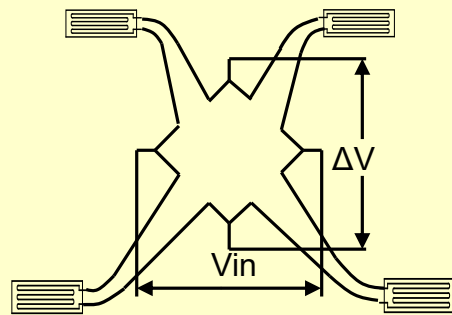
測定用途に応じた様々な結線方法

1ゲージ3線法



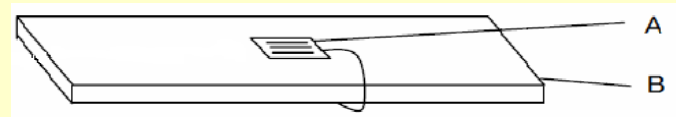
温度補償可能

4ゲージ法

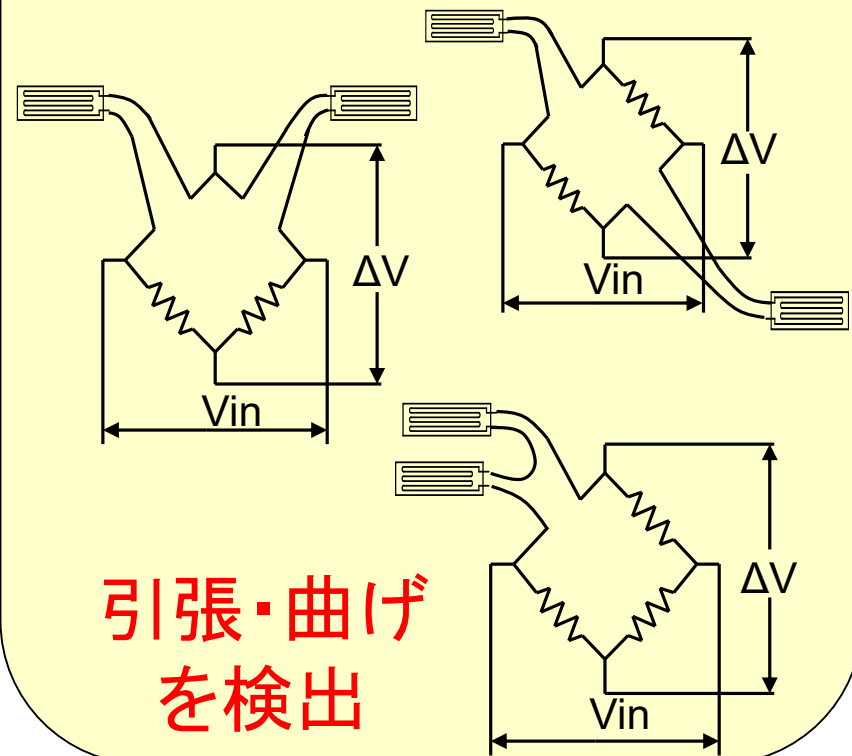


最も感度が良い

2ゲージ法



物体の両面にゲージを貼る



引張・曲げ
を検出

発表内容

1. 研究背景・目的

2. ひずみ測定の調査

2.1. ひずみ測定

▶ 2.2. ひずみゲージによる荷重計の設計・試作・評価

協力:富士電機システムズ

3. 高精度交流型動ひずみ測定回路

3.1. 現状の問題点の抽出

3.2. 問題解決の提案

4. まとめ・今後の課題

目的

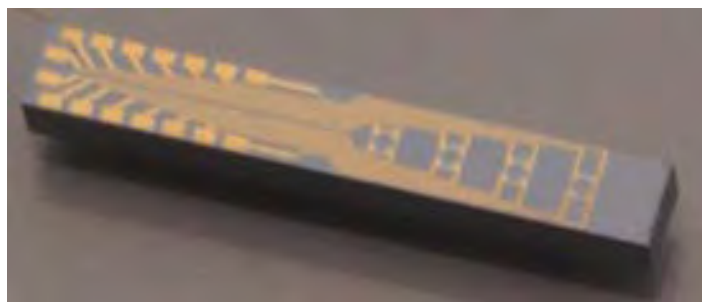
- 荷重計の設計・試作により、ひずみゲージを用いたセンサシステムの一般原理を調査
[設計・試作等は富士電機システムズの協力]
- 出力リニアリティの評価
- ひずみゲージの特性を知る

半導体ひずみゲージの一般原理

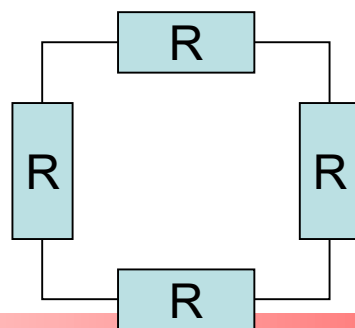
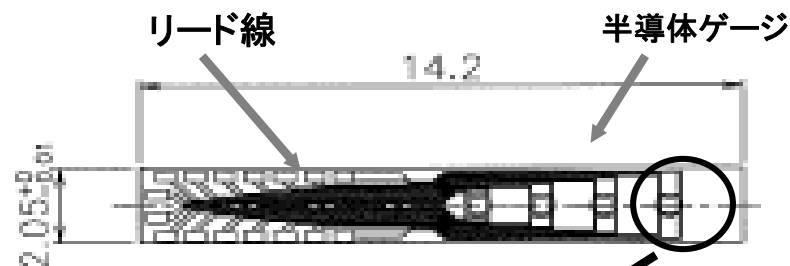
荷重計には半導体ひずみゲージを使用

半導体ひずみゲージ

応力によって抵抗値が変化し、
加わった力を電気信号に変換する素子



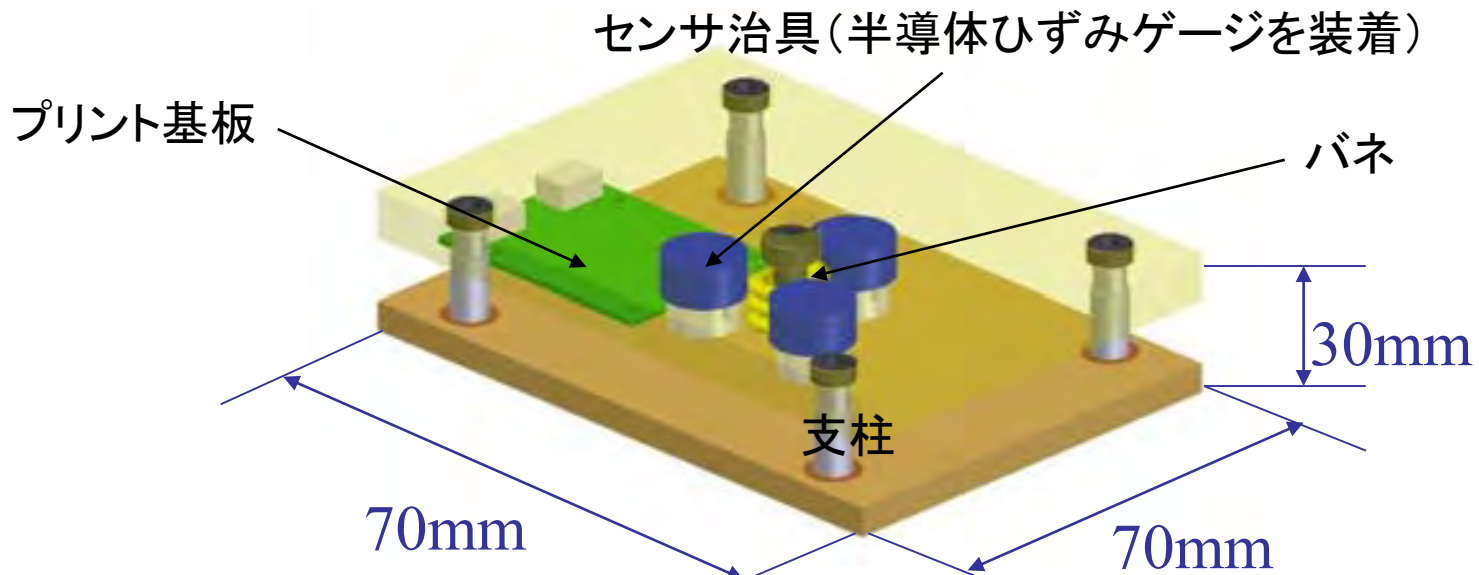
半導体ひずみゲージ
センサ



4ゲージ法

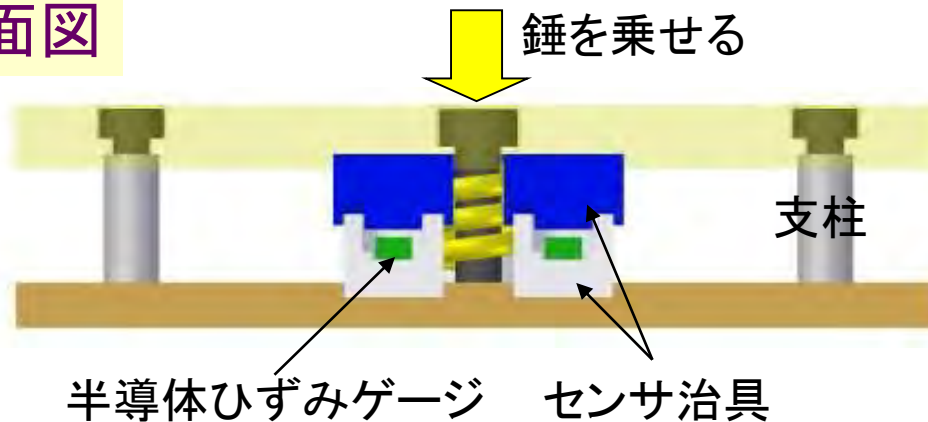
ひずみゲージセンサ: 富士電機システムズ

半導体ひずみゲージを用いた荷重計の設計

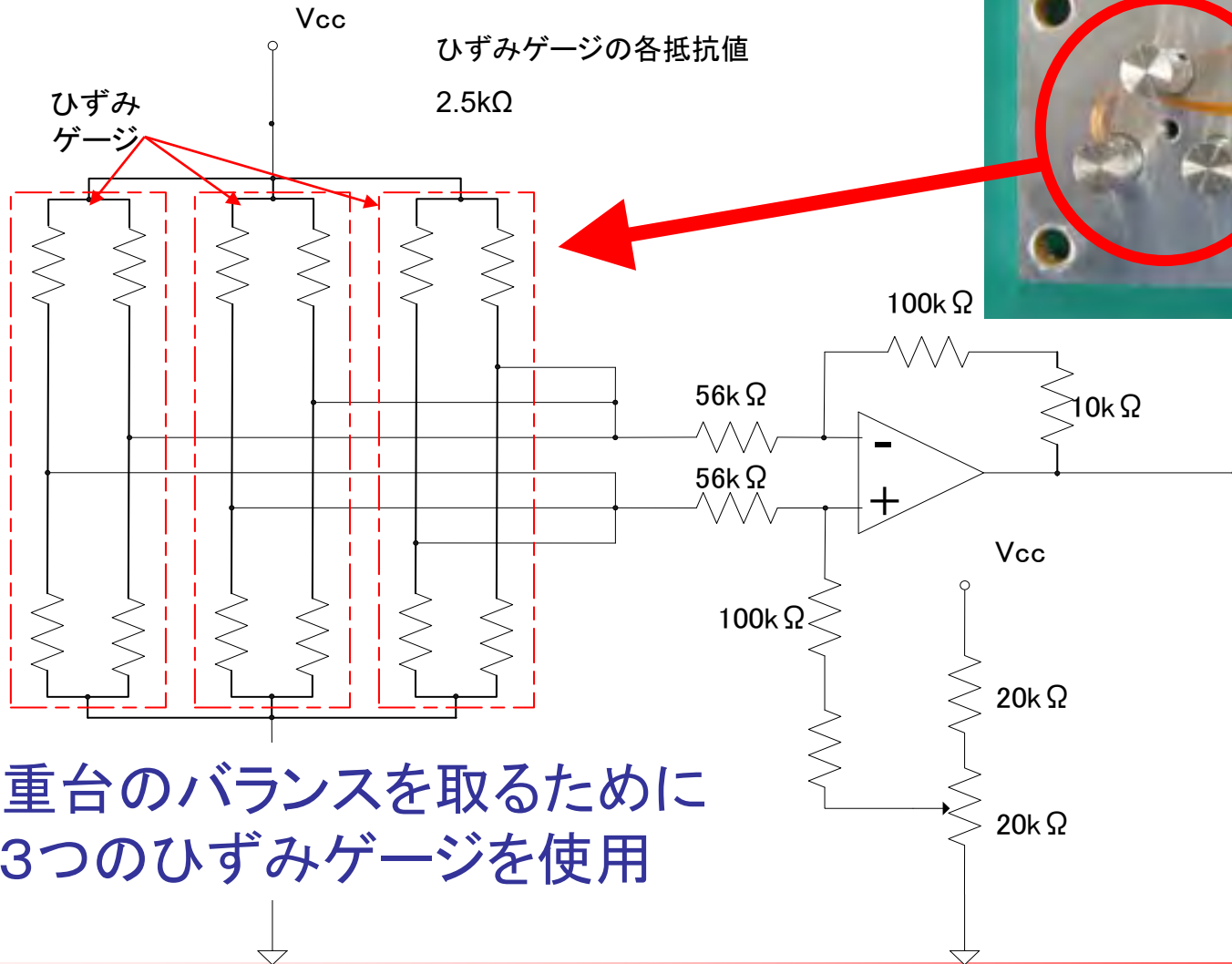
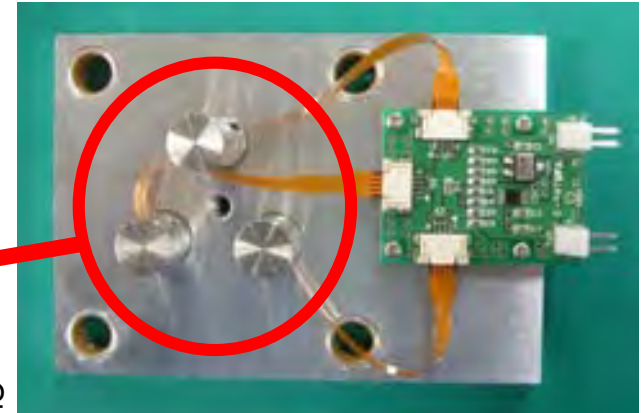


センサとプリント基板はフレキシブルケーブルで接続

荷重計側面図

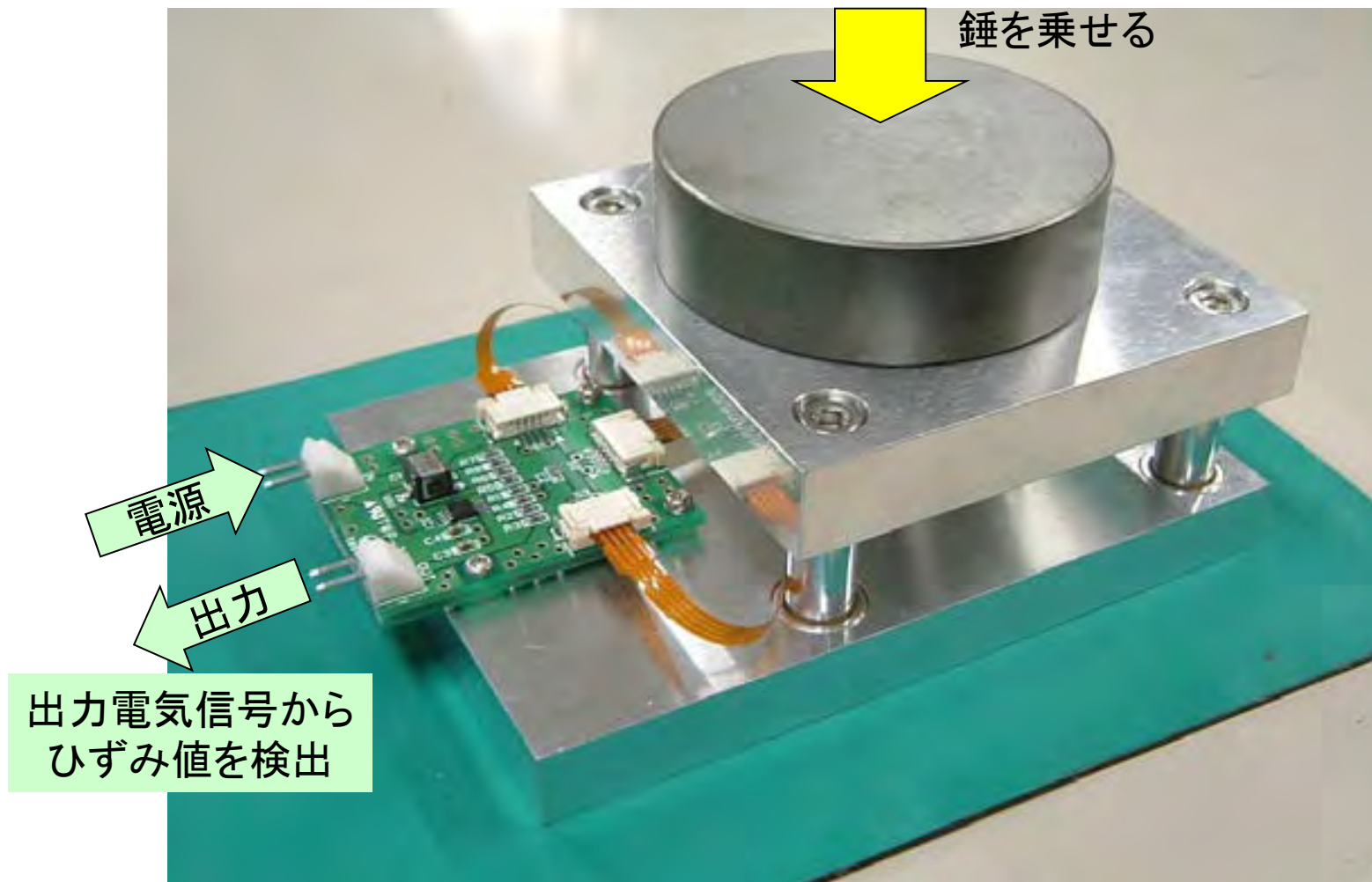


荷重計回路図設計



荷重台のバランスを取るために
3つのひずみゲージを使用

試作した荷重計による測定風景

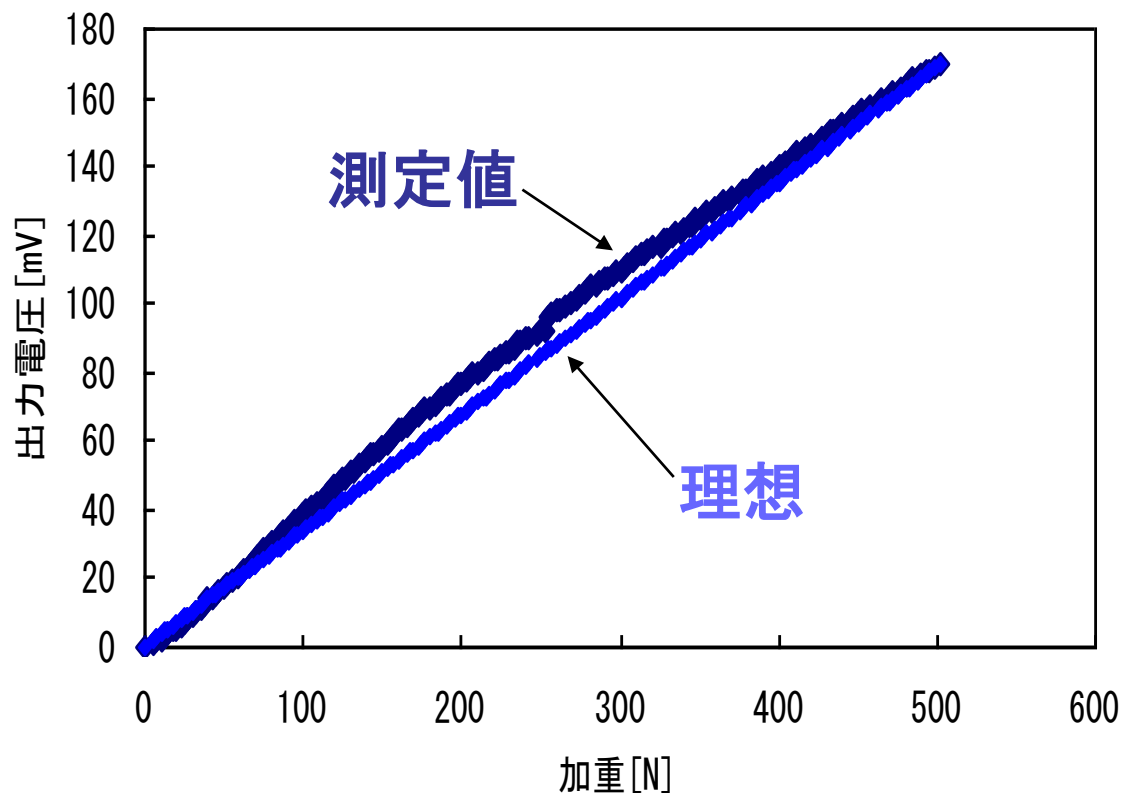


ひずみゲージの特性

直線性のばらつき



- ・機構部品の遊びの影響
- ・加重点の位置ずれの影響
- ・接着剤の影響



発表内容

1. 研究背景・目的

2. ひずみ測定の調査

2.1. ひずみ測定

2.2. ひずみゲージによる荷重計の設計・試作・評価

3. 高精度交流型動ひずみ測定回路

▶ 3.1. 現状の問題点の抽出

3.2. 問題解決の提案

4. まとめ・今後の課題

ひずみ測定法

ひずみ測定

時間の経過に対して変化
しないとみなせるひずみ

時間とともに変化
するひずみ

静ひずみ測定

動ひずみ測定

建造物の経時変化の測定

建造物の地震観測

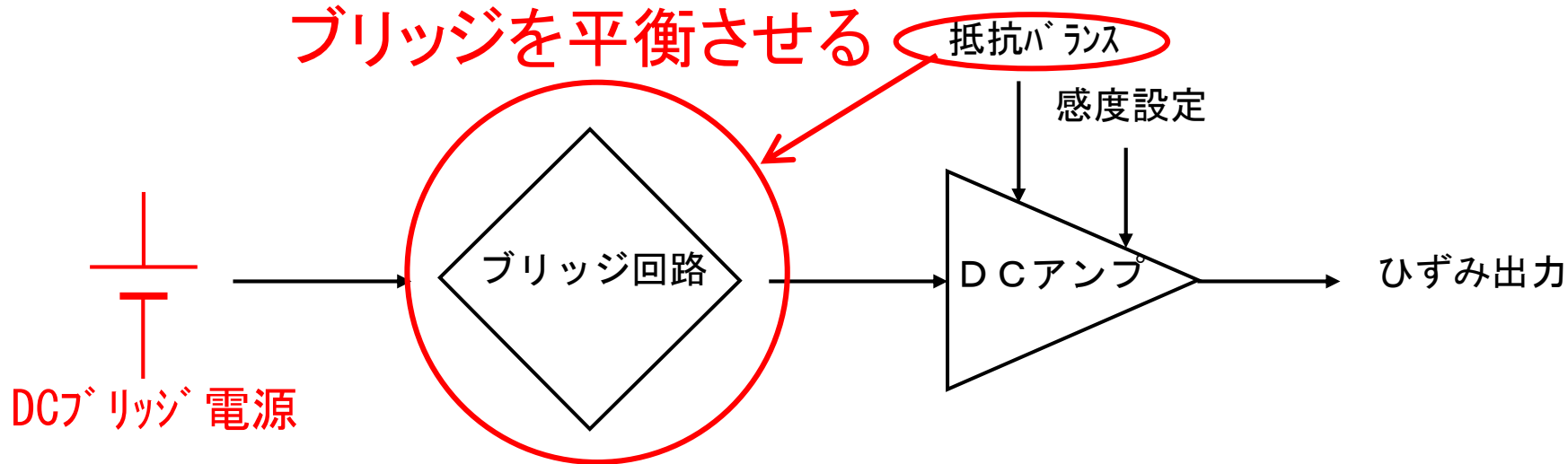
交流型測定法

直流型測定法

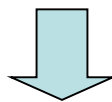
直流型動ひずみ測定法

- 寄生容量の影響はない
- 抵抗バランスのみ考慮すればいい

ブリッジを平衡させる



- 熱起電力、1/fノイズ、低周波ノイズの影響が大きい

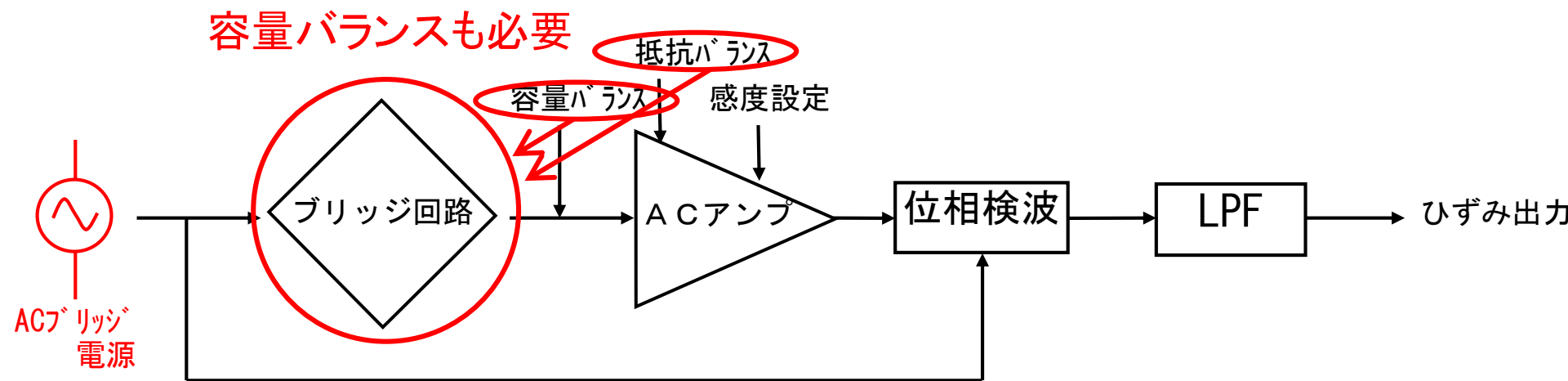


高精度化が困難

交流型動ひずみ測定法

使用メリット

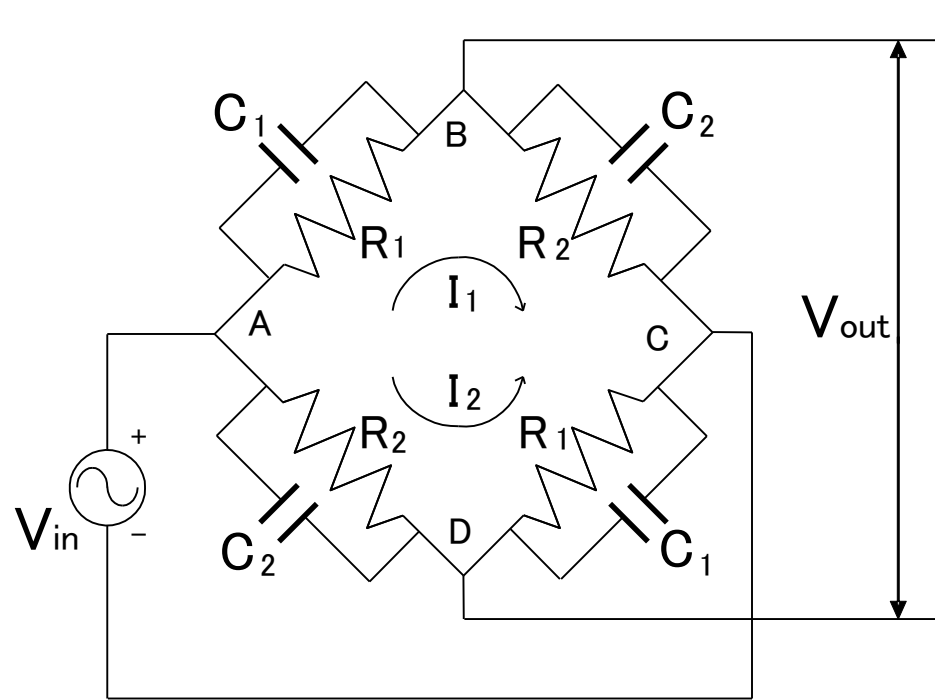
低周波ノイズの影響がなく、高安定、高精度



➡ 寄生容量が問題となる!

寄生容量の影響の解析

導出式



$$V_{out} = \left(\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} - \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \right) V_{in}$$

$$Z_1 = \frac{R_1}{1 + j\omega C_1 R_1}$$

$$Z_2 = \frac{R_2}{1 + j\omega C_2 R_2}$$

時定数 $T_1 = R_1 C_1$ 、 $T_2 = R_2 C_2$

$$V_{out} = \left(\frac{R_2^2 - R_1^2 + \omega^2 (T_1^2 R_2^2 - T_2^2 R_1^2) + 2j\omega R_1 R_2 (T_1 - T_2)}{(R_2 + R_1)^2 + \omega^2 (T_1 R_2 + T_2 R_1)^2} \right) V_{in}$$

出力電圧への影響

$$V_{out} = \left(\frac{R_2^2 - R_1^2 + \omega^2 (T_1^2 R_2^2 - T_2^2 R_1^2) - 2j\omega R_1 R_2 (T_1 - T_2)}{(R_2 + R_1)^2 + \omega^2 (T_1 R_2 + T_2 R_1)^2} \right) V_{in}$$

$$T_1 = R_1 C_1, T_2 = R_2 C_2$$

経時変化、温度変化
により変動してしまう

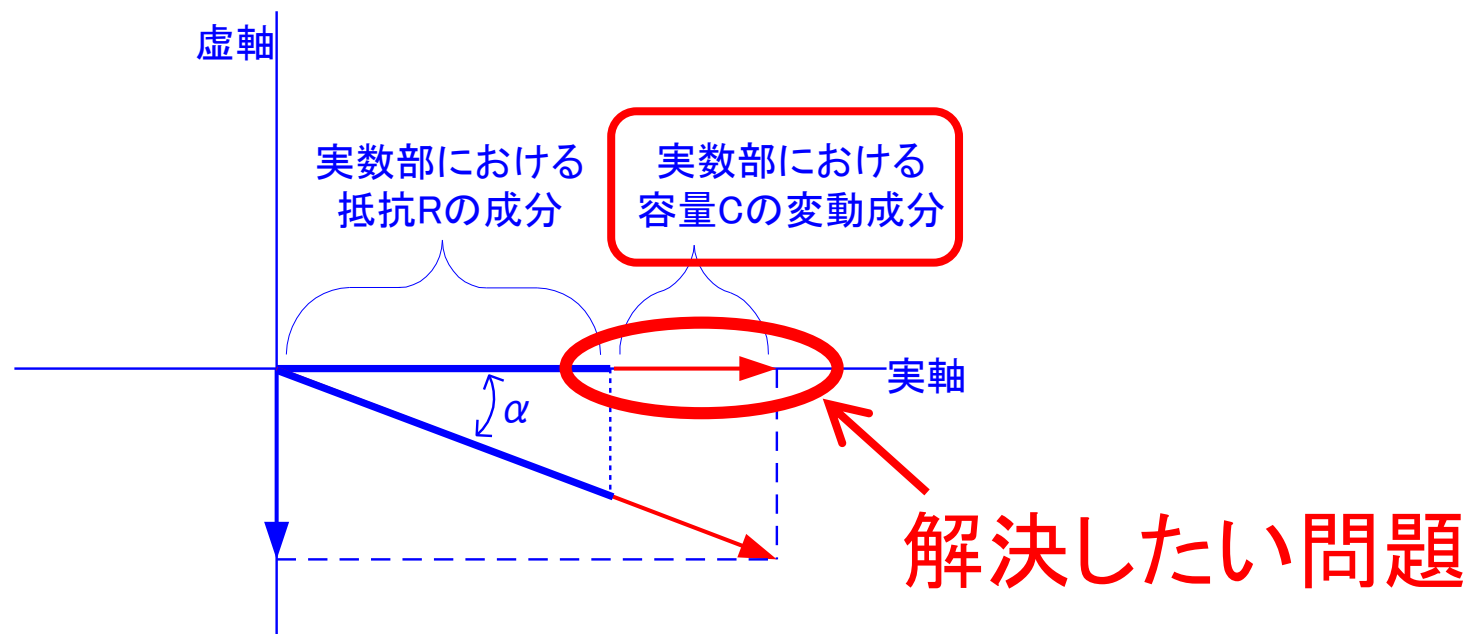
実数部

$$V_{CR} = \left(\frac{R_2^2 - R_1^2 + \omega^2 (T_1^2 R_2^2 - T_2^2 R_1^2)}{(R_2 + R_1)^2 + \omega^2 (T_1 R_2 + T_2 R_1)^2} \right) V_{in}$$

虚数部

$$V_{CI} = \left(\frac{2\omega R_1 R_2 (T_1 - T_2)}{(R_2 + R_1)^2 + \omega^2 (T_1 R_2 + T_2 R_1)^2} \right) V_{in}$$

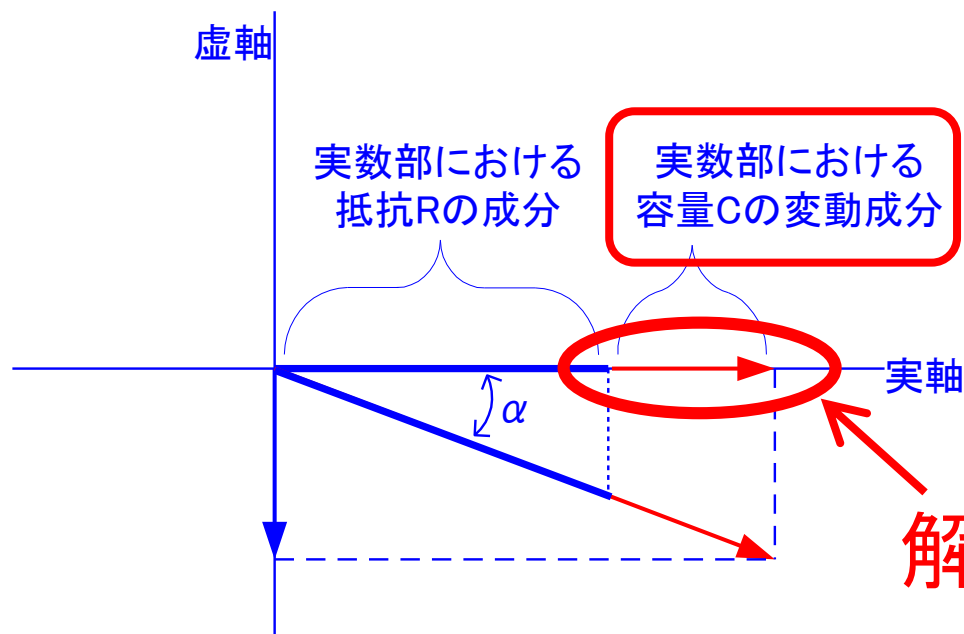
実数部での寄生容量の影響



実数部にも容量の影響が出てしまうことがわかった

$$V_{CR} = \left(\frac{R_2^2 - R_1^2 + \omega^2 (T_1^2 R_2^2 - T_2^2 R_1^2)}{(R_2 + R_1)^2 + \omega^2 (T_1 R_2 + T_2 R_1)^2} \right) V_{in}$$

実数部での寄生容量の影響



解決したい問題

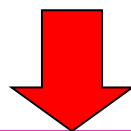
実数部にも容量の影響がブリッジ出力の変動とわかった

$$V_{CR} = \left(\frac{R_2^2 - R_1^2 + \omega^2 (T_1^2 R_2^2 - T_2^2 R_1^2)}{(R_2 + R_1)^2 + \omega^2 (T_1 R_2 + T_2 R_1)^2} \right) V_{in}$$

感度変化

交流型動ひずみ測定の問題点

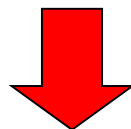
動ひずみ測定



- 経時変化・温度変化
- 寄生容量の値が変動

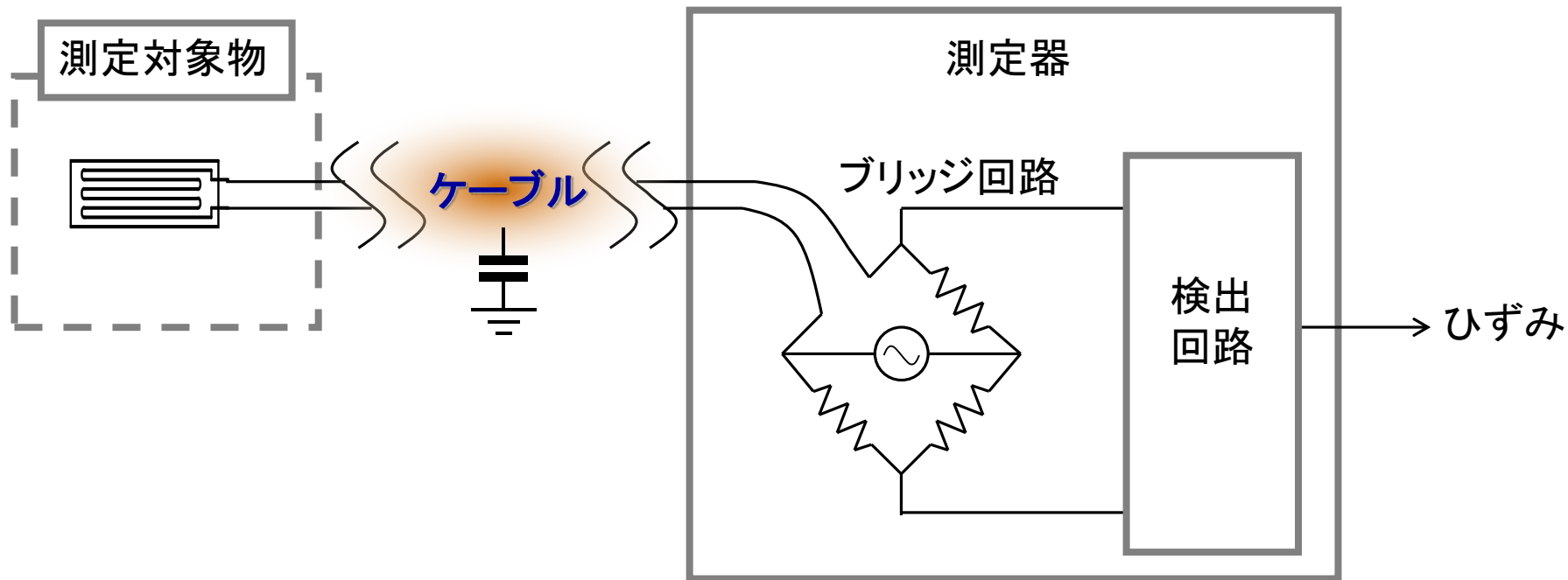
長いケーブルを使用するアプリケーション

→寄生容量の影響が大きい



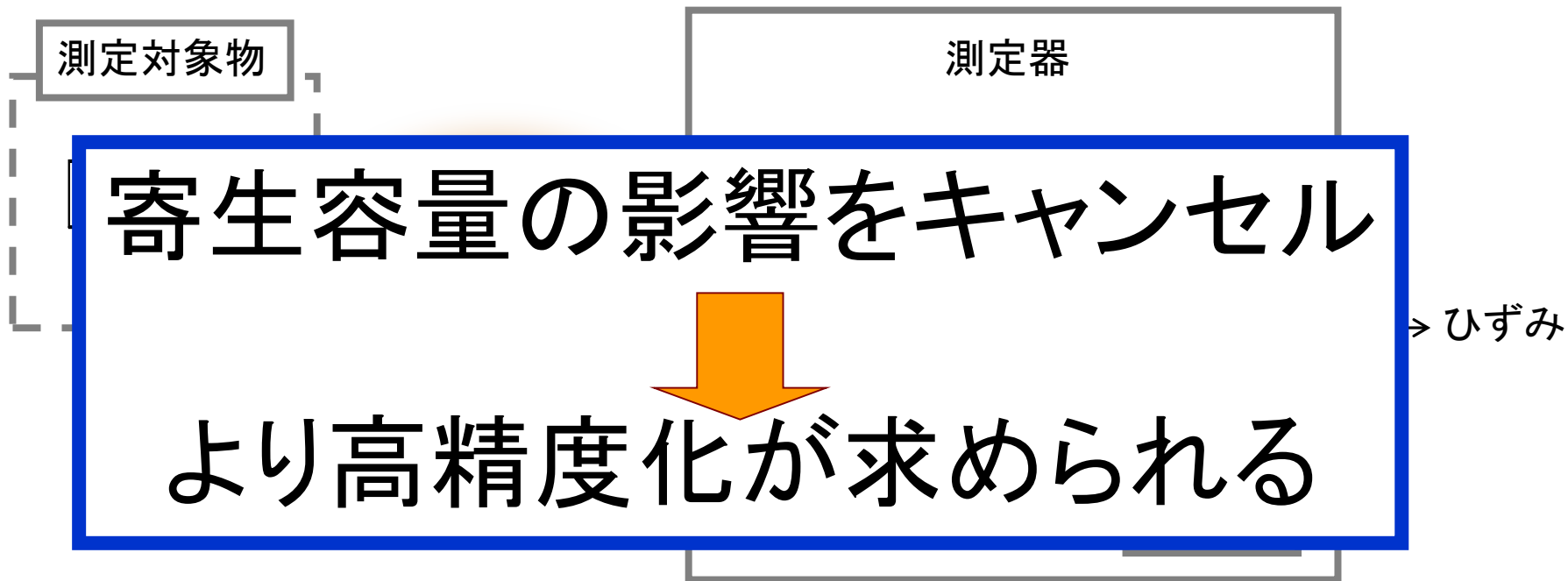
ひずみを高精度測定する際に無視できない問題

長いケーブルを使用するアプリケーション



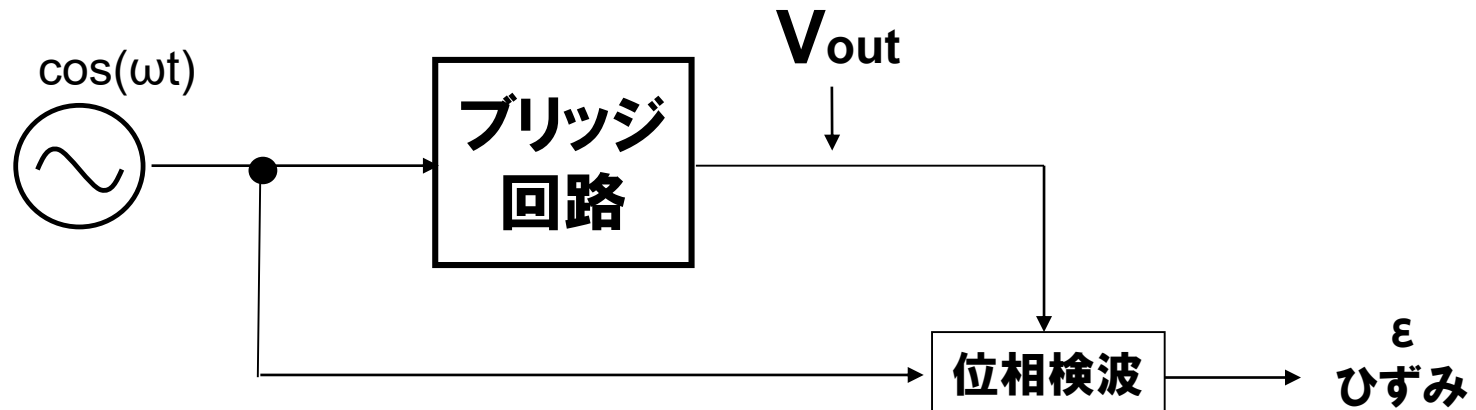
ブリッジ回路内に長いケーブルが存在する場合
□ブリッジ回路内の問題なので
後段回路での誤差補正が非常に難しい

長いケーブルを使用するアプリケーション

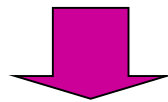


- ブリッジ回路内に長いケーブルが存在する場合
- ブリッジ回路内の問題なので
後段回路での誤差補正が非常に難しい

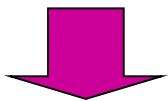
従来の交流型動ひずみ測定法



従来法: 実数部のみを位相検波



実数部における容量の問題は従来法では解決できない



新たな方式を提案

発表内容

1. 研究背景・目的

2. ひずみ測定の調査

2.1. ひずみ測定

2.2. ひずみゲージによる荷重計の設計・試作・評価

3. 高精度交流型動ひずみ測定回路

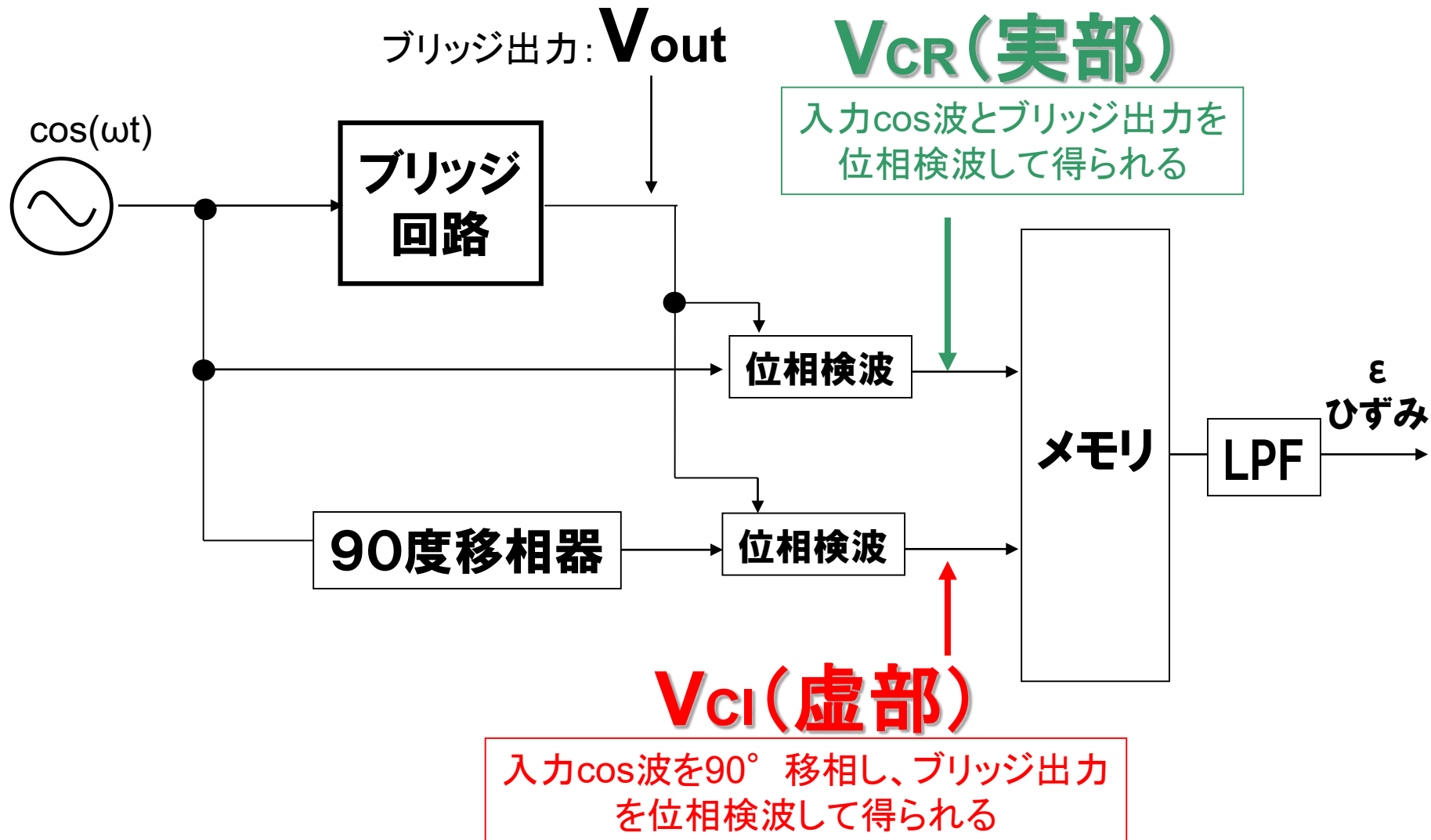
3.1. 現状の問題点の抽出

▶ 3.2. 問題解決の提案

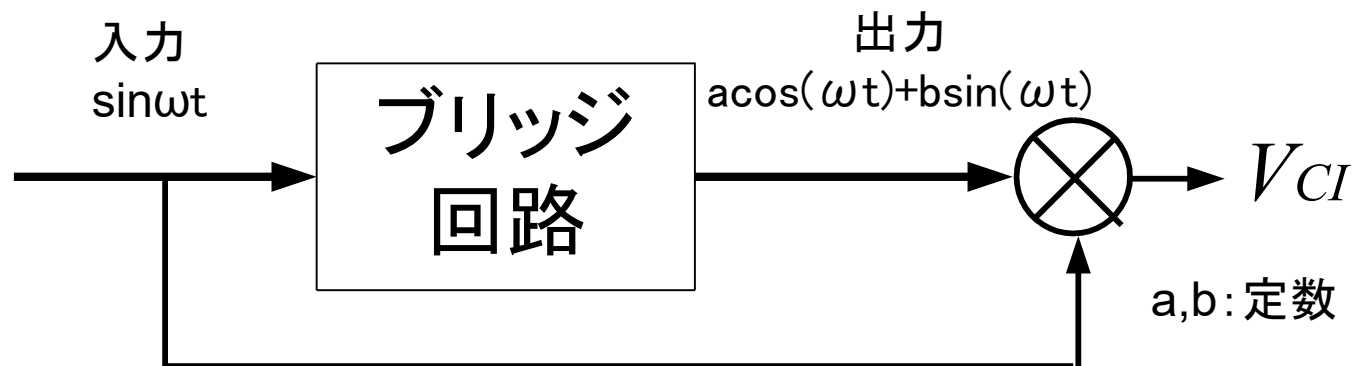
4. まとめ・今後の課題

提案1:
直交位相検波法

直交位相検波

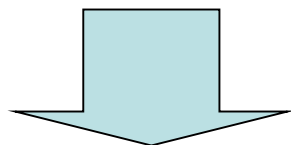


位相検波の理論式



$$V_{CR} = \cos(\omega t) \times [a \cos(\omega t) + b \sin(\omega t)]$$

$$= \frac{a}{2} + \frac{a}{2} \cos 2\omega t + \frac{b}{2} \sin 2\omega t$$

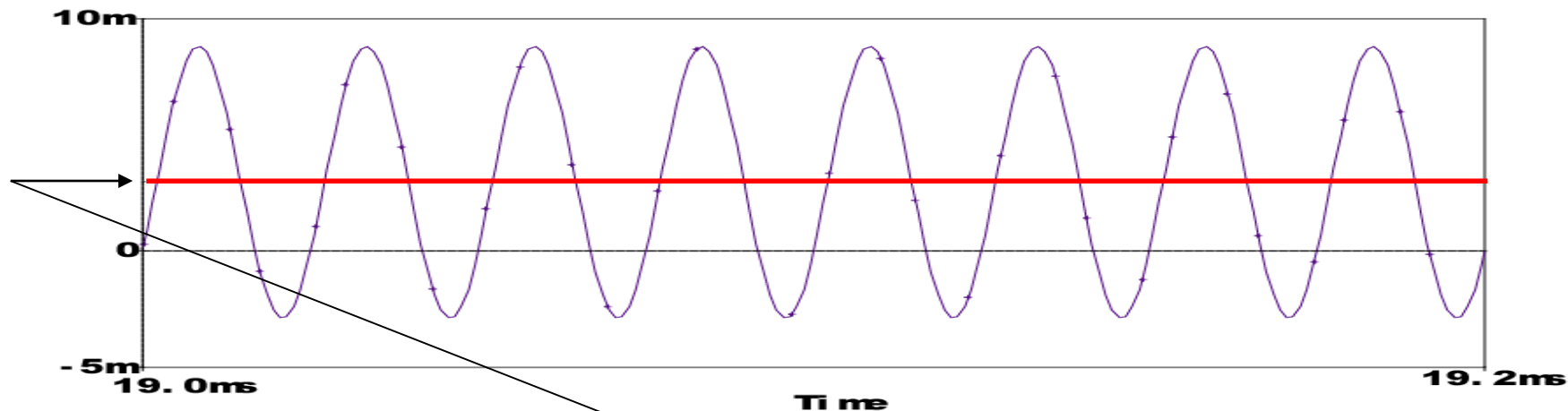


LPFでカットするとDC成分のみ残る

$$V_{CR} = \frac{a}{2}$$

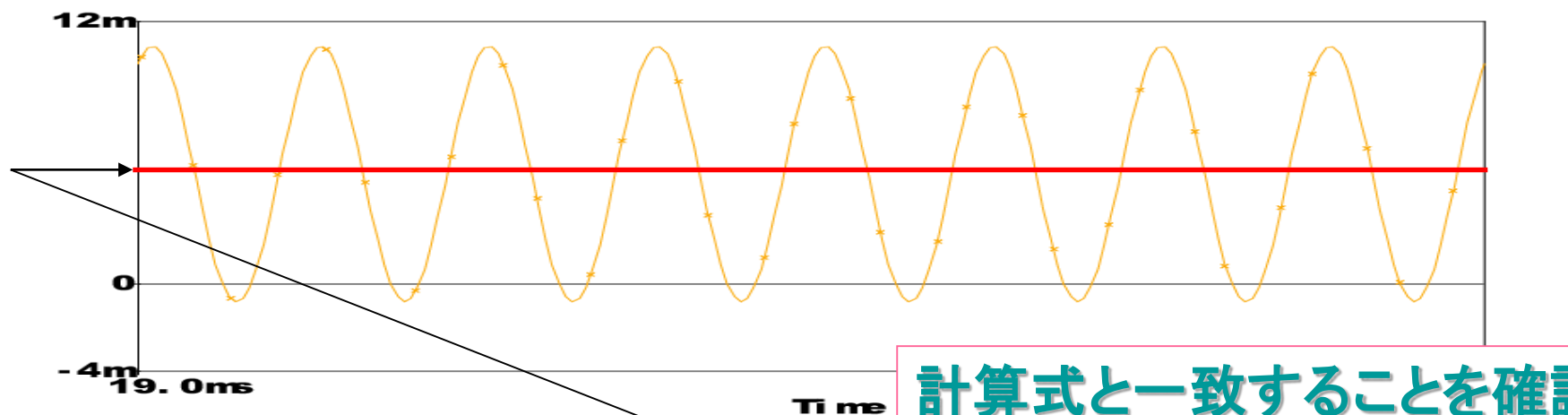
$$V_{CI} \text{も同様にしてLPFを通すと} \rightarrow V_{CI} = \frac{b}{2}$$

spice によるシミュレーション波形



V_{CR}波形

a/2 DC成分の値

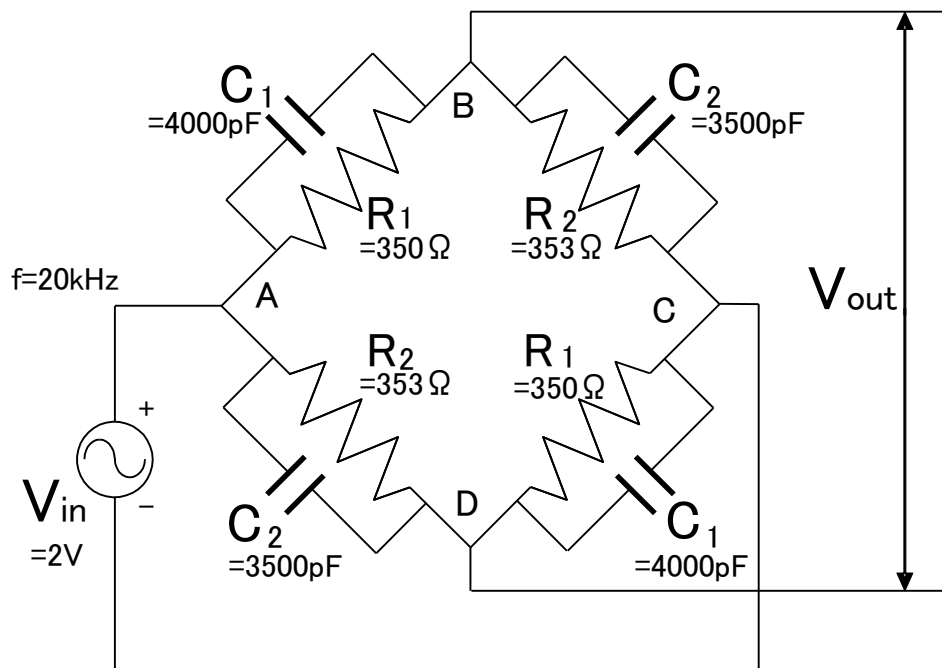


V_{ci}波形

b/2 DC成分の値

計算式と一致することを確認

シミュレーションによる解析の検証



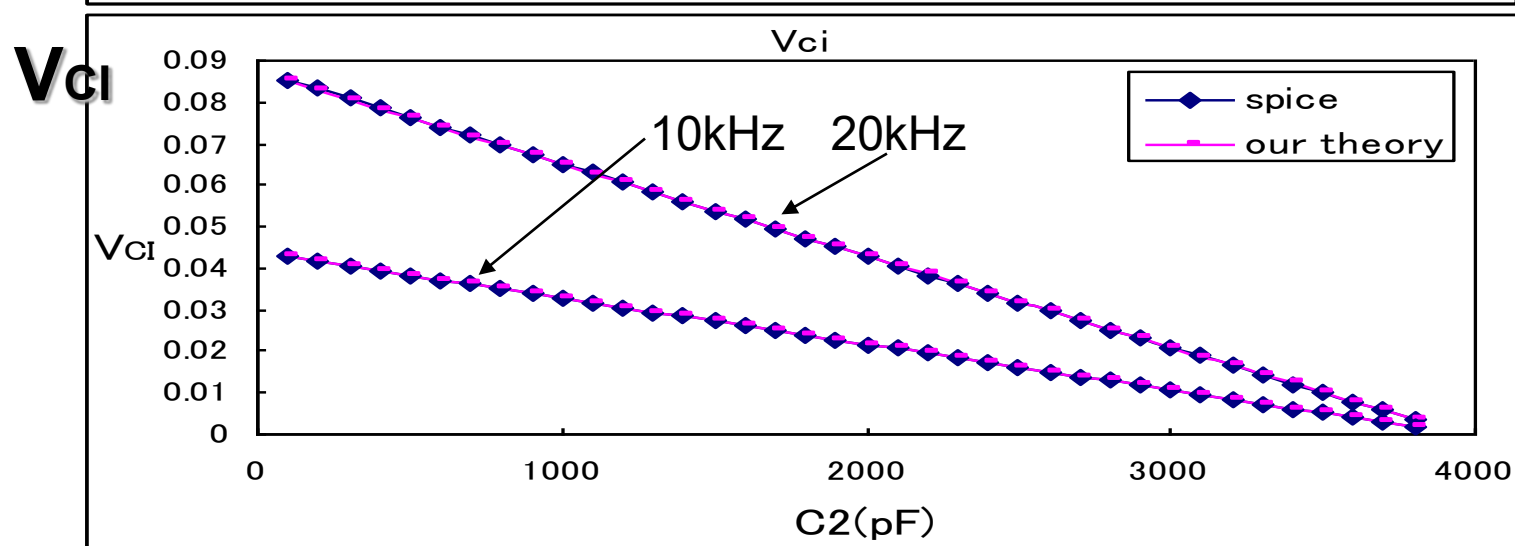
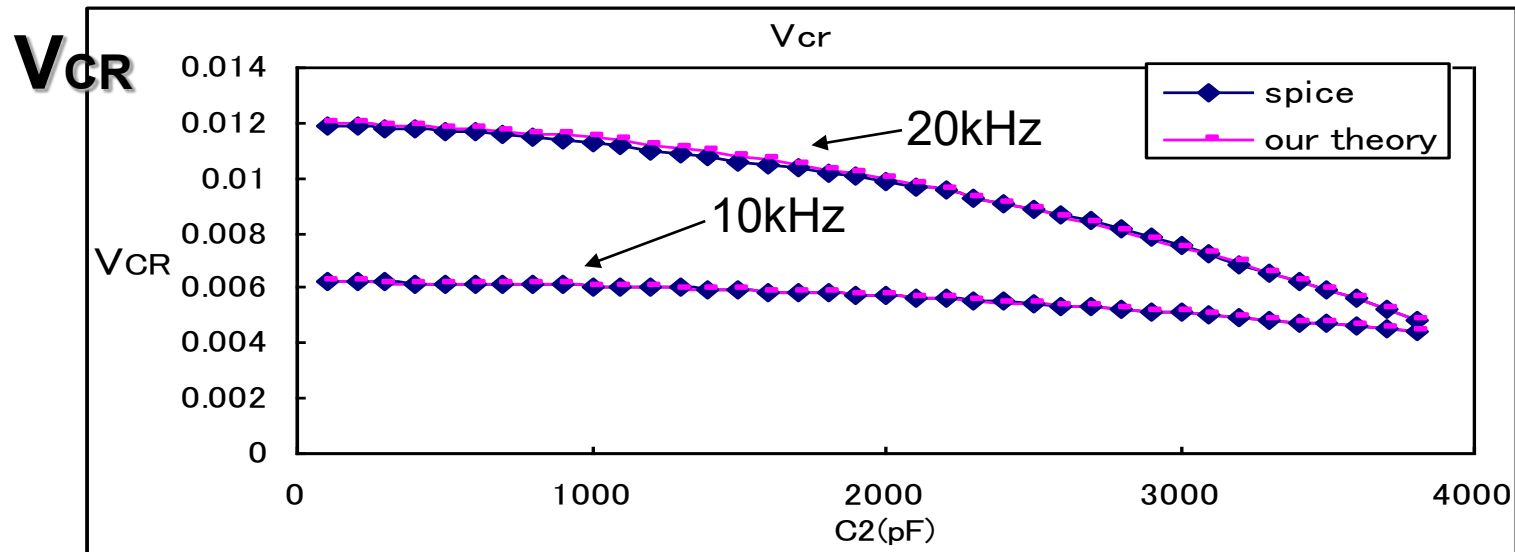
$$R_1 = 350\Omega, R_2 = 353\Omega$$

$$C_1 = 4000 pF, C_2 = 3500 pF$$

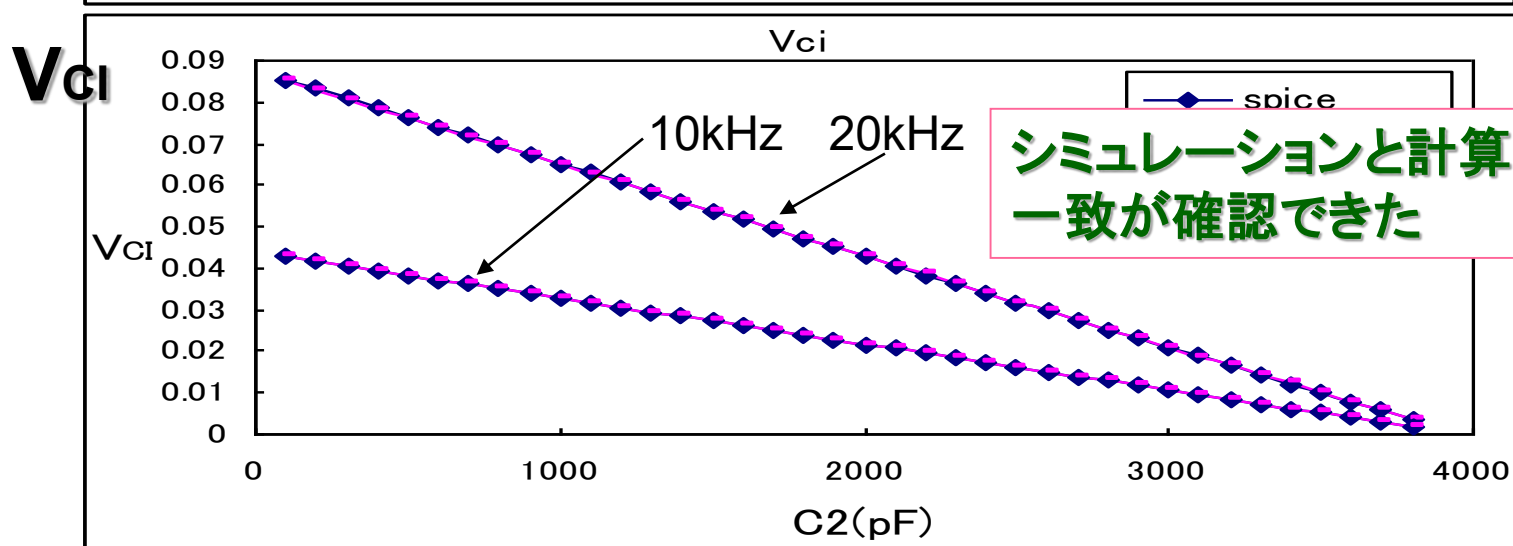
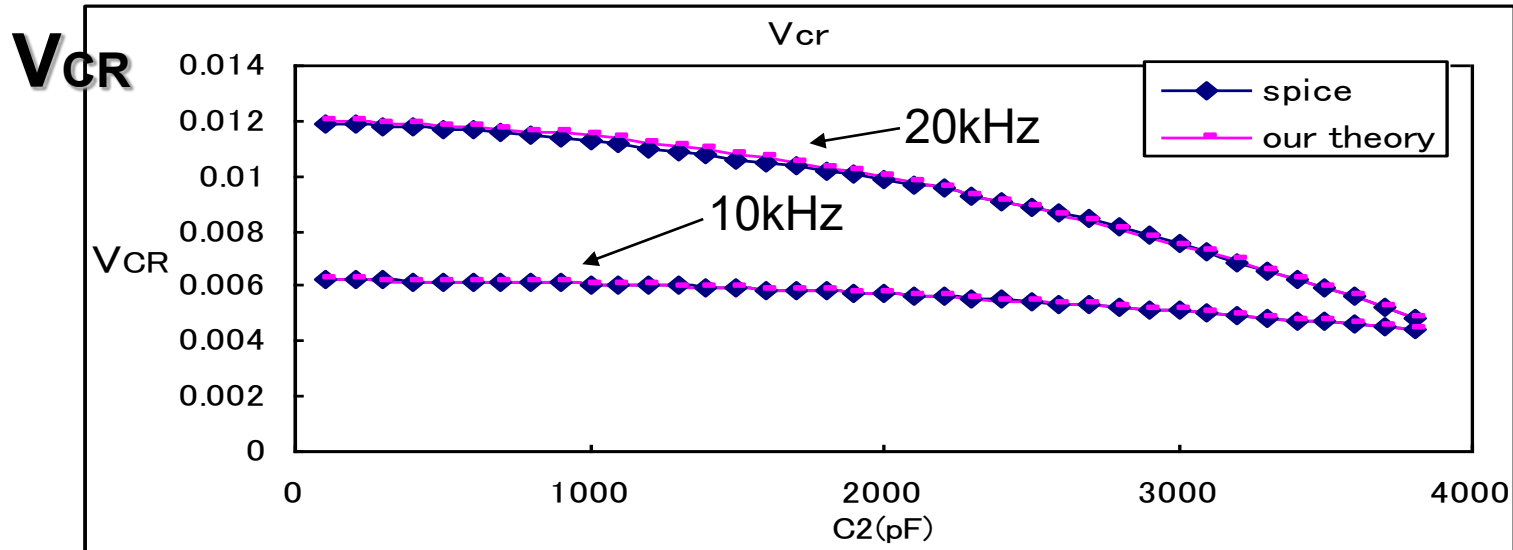
$$f = 20kHz, V_{in} = 2V$$

を与えC2の値を変化させる
パラメトリック解析を行った

C2を変化させた時のVcr, Vci特性



C2を変化させた時のVcr, Vci特性

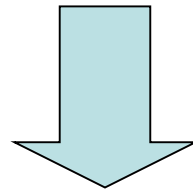


シミュレーションと計算結果の一致が確認できた

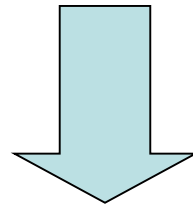
提案2:
分周器を用いた位相検波

実際の測定

提案1ではひずみの値が考慮されていない



実際の測定環境で影響するパラメータを考慮する
(ε :ひずみ 定数[K :ゲージ率 σ :ポアソン比])



ε :ひずみを導出する

実際の測定での式

導出式

$$V_{out} = \left(\frac{R_2^2 - R_1^2 + \omega^2 (T_1^2 R_2^2 - T_2^2 R_1^2) + 2j\omega R_1 R_2 (T_1 - T_2)}{(R_2 + R_1)^2 + \omega^2 (T_1 R_2 + T_2 R_1)^2} \right) V_{in}$$

ε : ひずみ 定数 [K : ゲージ率 σ : ポアソン比]

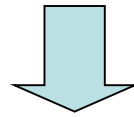
$$R_1 = R(1 + K\varepsilon), \quad R_2 = R(1 - L\varepsilon), \quad L = K\sigma$$

$$V_{out} = \left(\frac{K\varepsilon(1 + \sigma) \{ K\varepsilon(\sigma - 1) + 2 \} + \omega^2 \{ T_1^2 (1 - K\sigma\varepsilon)^2 - T_2^2 (1 + 2K\varepsilon)^2 \} + 2j\omega(T_1 - T_2)(1 + K\varepsilon)(1 - K\sigma\varepsilon)}{\{ 2 + K\varepsilon(1 - \sigma) \}^2 + \omega^2 \{ T_1 + T_2 + K(T_2 - \sigma T_1)\varepsilon \}^2} \right) V_{in}$$

ひずみ ε の値を考慮した出力電圧式

寄生容量キャンセルアルゴリズム

$$V_{out} = \left(\frac{K\varepsilon(1+\sigma)\{K\varepsilon(\sigma-1)+2\} + \omega^2 \{T_1^2(1-K\sigma\varepsilon)^2 - T_2^2(1+2K\varepsilon)^2\} + 2j\omega(T_1 - T_2)(1+K\varepsilon)(1-K\sigma\varepsilon)}{\{2 + K\varepsilon(1-\sigma)\}^2 + \omega^2 \{T_1 + T_2 + K(T_2 - \sigma T_1)\varepsilon\}^2} \right) V_{in}$$



実数項

$$V_{CR} = \left(\frac{K\varepsilon(1+\sigma)\{K\varepsilon(\sigma-1)+2\} + \omega_1^2 \{T_1^2(1-K\sigma\varepsilon)^2 - T_2^2(1+2K\varepsilon)^2\}}{\{2 + K\varepsilon(1-\sigma)\}^2 + \omega_1^2 \{T_1 + T_2 + K(T_2 - \sigma T_1)\varepsilon\}^2} \right) V_{in}$$

虚数項

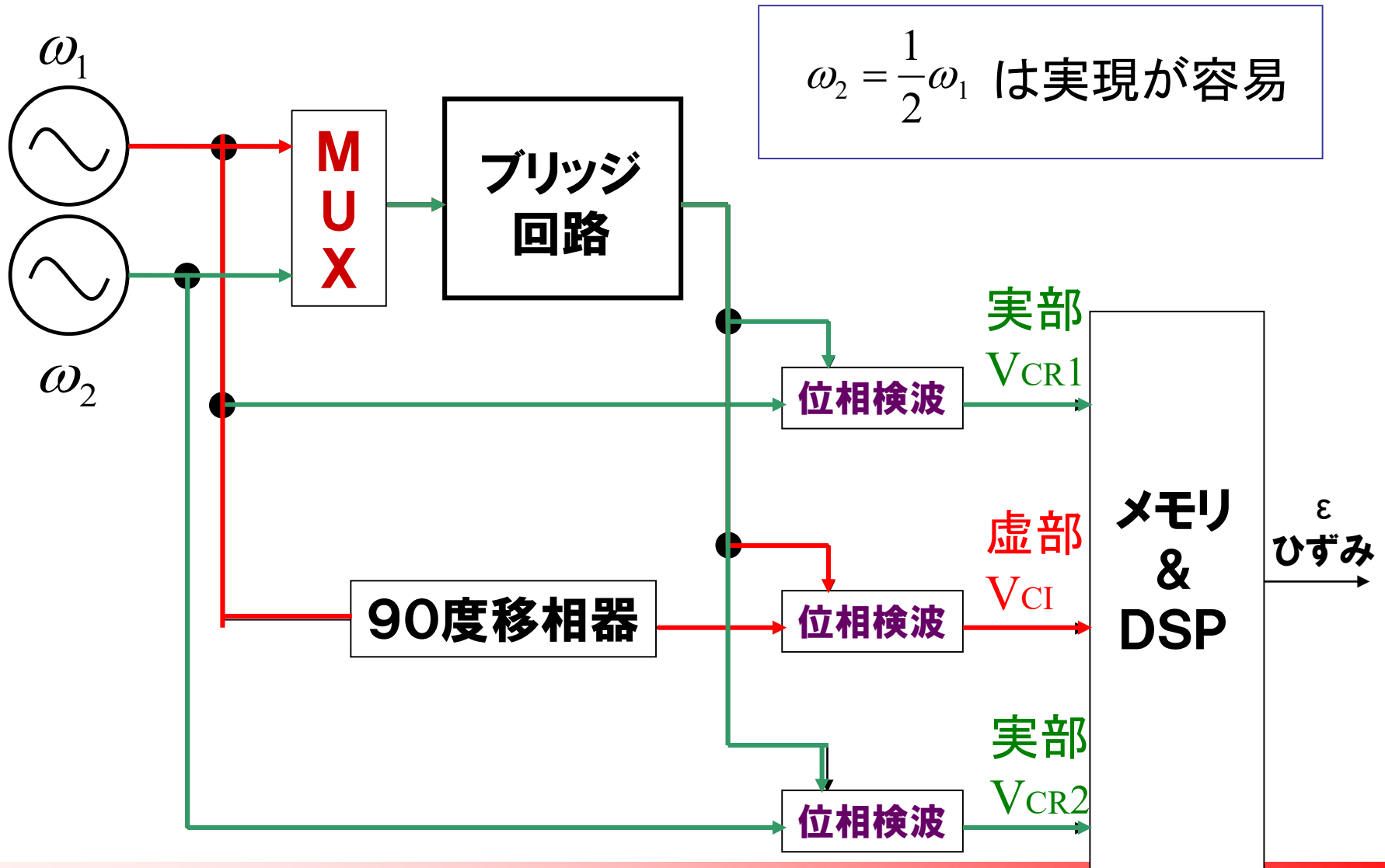
$$V_{CI} = \left(\frac{2\omega_1(T_1 - T_2)(1+K\varepsilon)(1-K\sigma\varepsilon)}{\{2 + K\varepsilon(1-\sigma)\}^2 + \omega_1^2 \{T_1 + T_2 + K(T_2 - \sigma T_1)\varepsilon\}^2} \right) V_{in}$$

未知の値は ε 、 T_1 、 T_2

求めたいのは**ひずみ ε**

→3つの連立方程式を作り ε を導出

提案するブロック図



位相検波後の出力電圧

実部($\omega 1$)

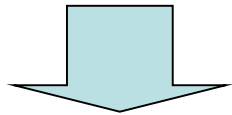
$$V_{CR1} = \left(\frac{K\varepsilon(1+\sigma)\{K\varepsilon(\sigma-1)+2\} + \omega_1^2 \{T_1^2(1-K\sigma\varepsilon)^2 - T_2^2(1+2K\varepsilon)^2\}}{\{2+K\varepsilon(1-\sigma)\}^2 + \omega_1^2 \{T_1+T_2+K(T_2-\sigma T_1)\varepsilon\}^2} \right) V_{in}$$

虚部($\omega 1$)

$$V_{CI} = \left(\frac{2\omega_1(T_1-T_2)(1+K\varepsilon)(1-K\sigma\varepsilon)}{\{2+K\varepsilon(1-\sigma)\}^2 + \omega_1^2 \{T_1+T_2+K(T_2-\sigma T_1)\varepsilon\}^2} \right) V_{in}$$

実部($\omega 2$)

$$V_{CR2} = \left(\frac{K\varepsilon(1+\sigma)\{K\varepsilon(\sigma-1)+2\} + \omega_2^2 \{T_1^2(1-K\sigma\varepsilon)^2 - T_2^2(1+2K\varepsilon)^2\}}{\{2+K\varepsilon(1-\sigma)\}^2 + \omega_2^2 \{T_1+T_2+K(T_2-\sigma T_1)\varepsilon\}^2} \right) V_{in}$$



3つの方程式より ε を導くことができる

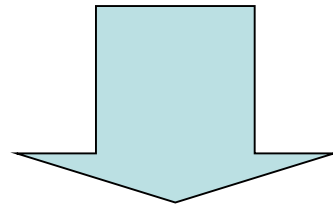
ひずみ ε 導出式

ε^2 の項は微小なので無視して計算

$$\varepsilon = \frac{\omega_1^2 (T_1^2 - T_2^2) + 2(V_{CR1}/V_{CI})\omega_1 (T_2 - T_1)}{2\omega_1 (V_{CR1}/V_{CI})K (T_1 - T_2 + T_2\sigma - T_1\sigma) - 2K(1 + \sigma) + 2\omega_1^2 K (T_1^2\sigma + 2T_2^2)}$$

$$K = 2, \sigma = 0.3, \omega_1 = 40\pi \times 10^3, V_{CR1} = 0.0049, V_{CI} = 0.0036, V_{CR2} = 0.0044$$

の値を用いて算出



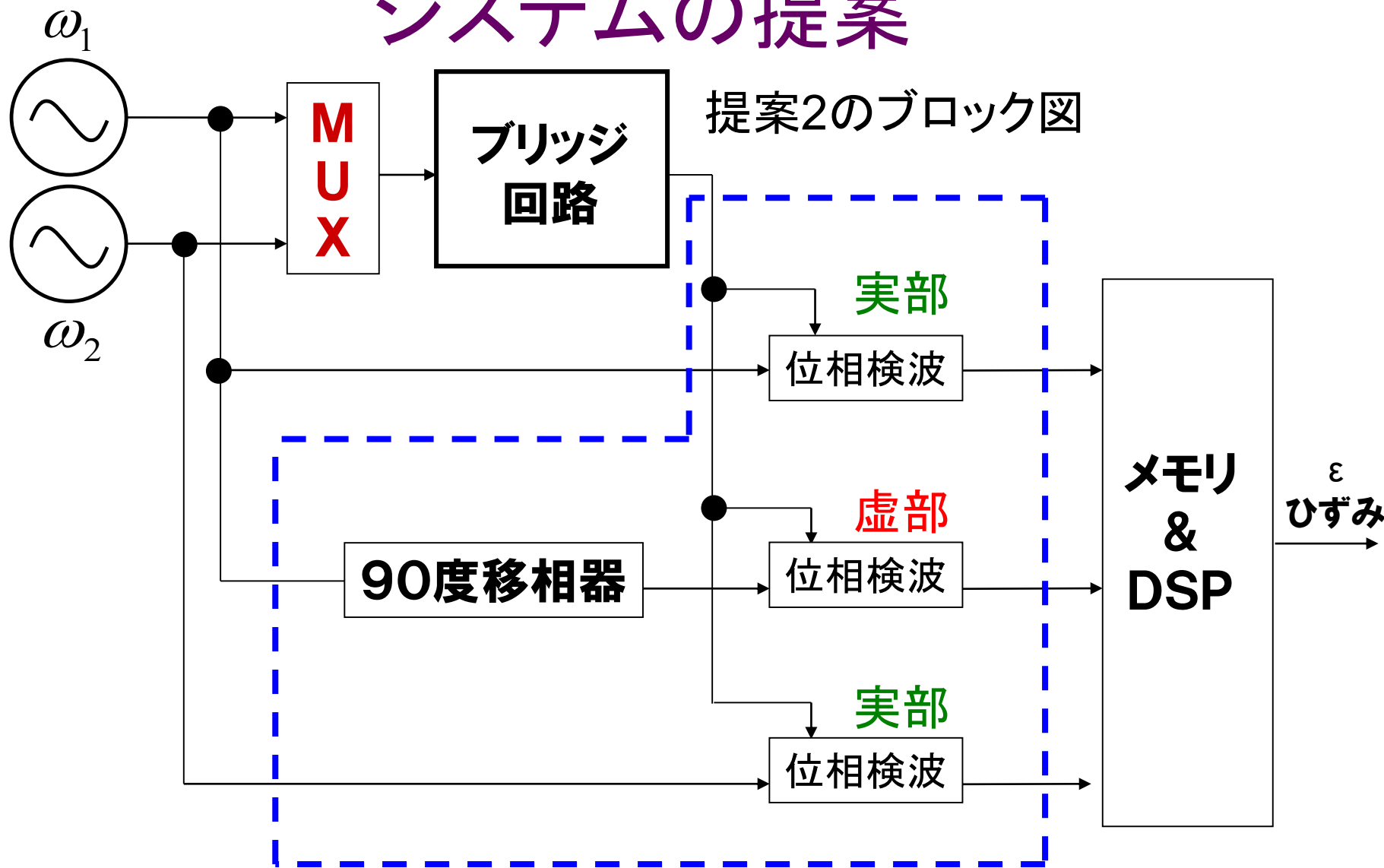
$$\varepsilon \cong 3500 \times 10^{-6}$$

金属の一般的なひずみ ε は1000~6000 $\mu\varepsilon$

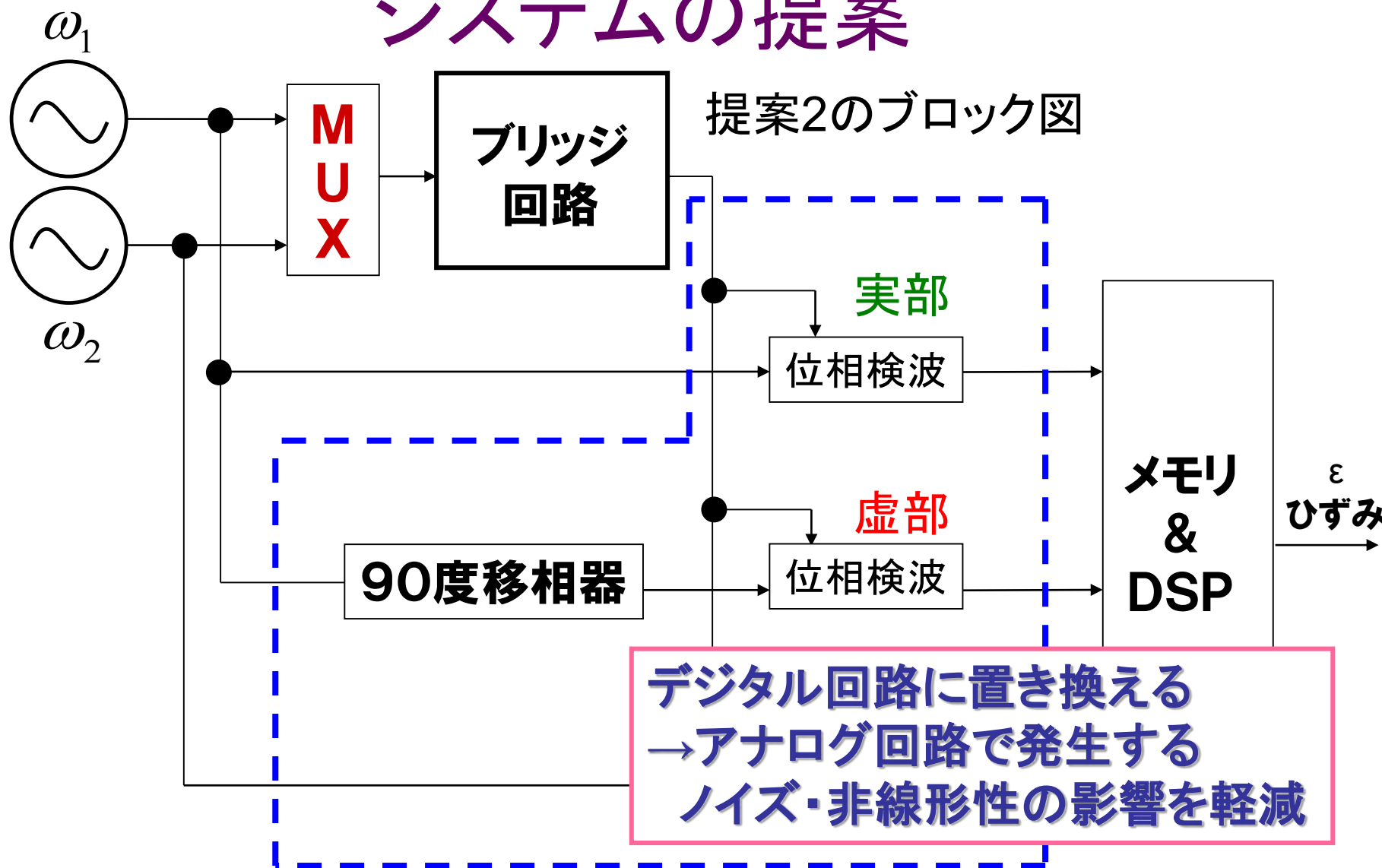
現実的な値の算出に成功

提案3:
デジタル的にひずみを
検出するシステム

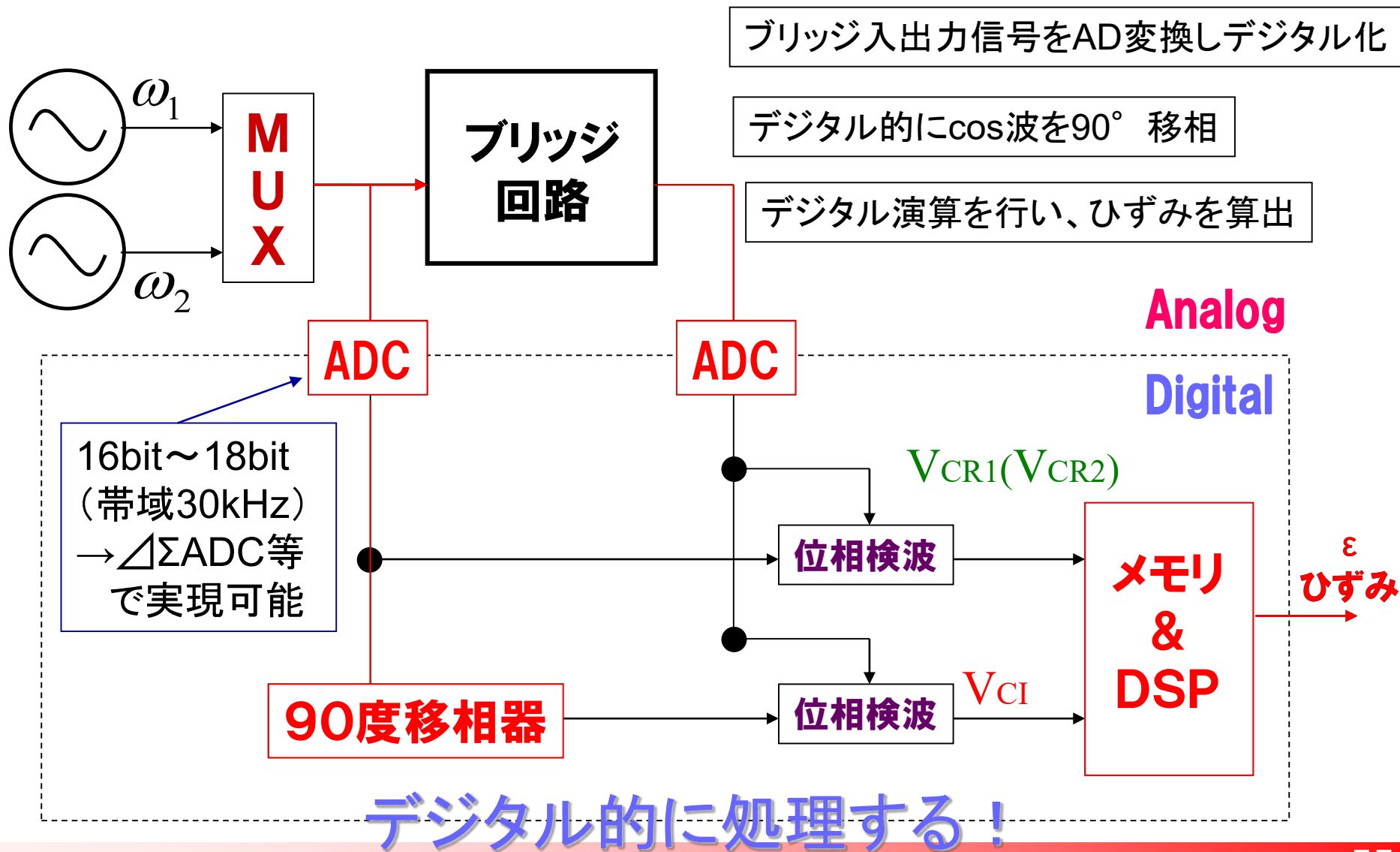
デジタル的にひずみを検出する システムの提案



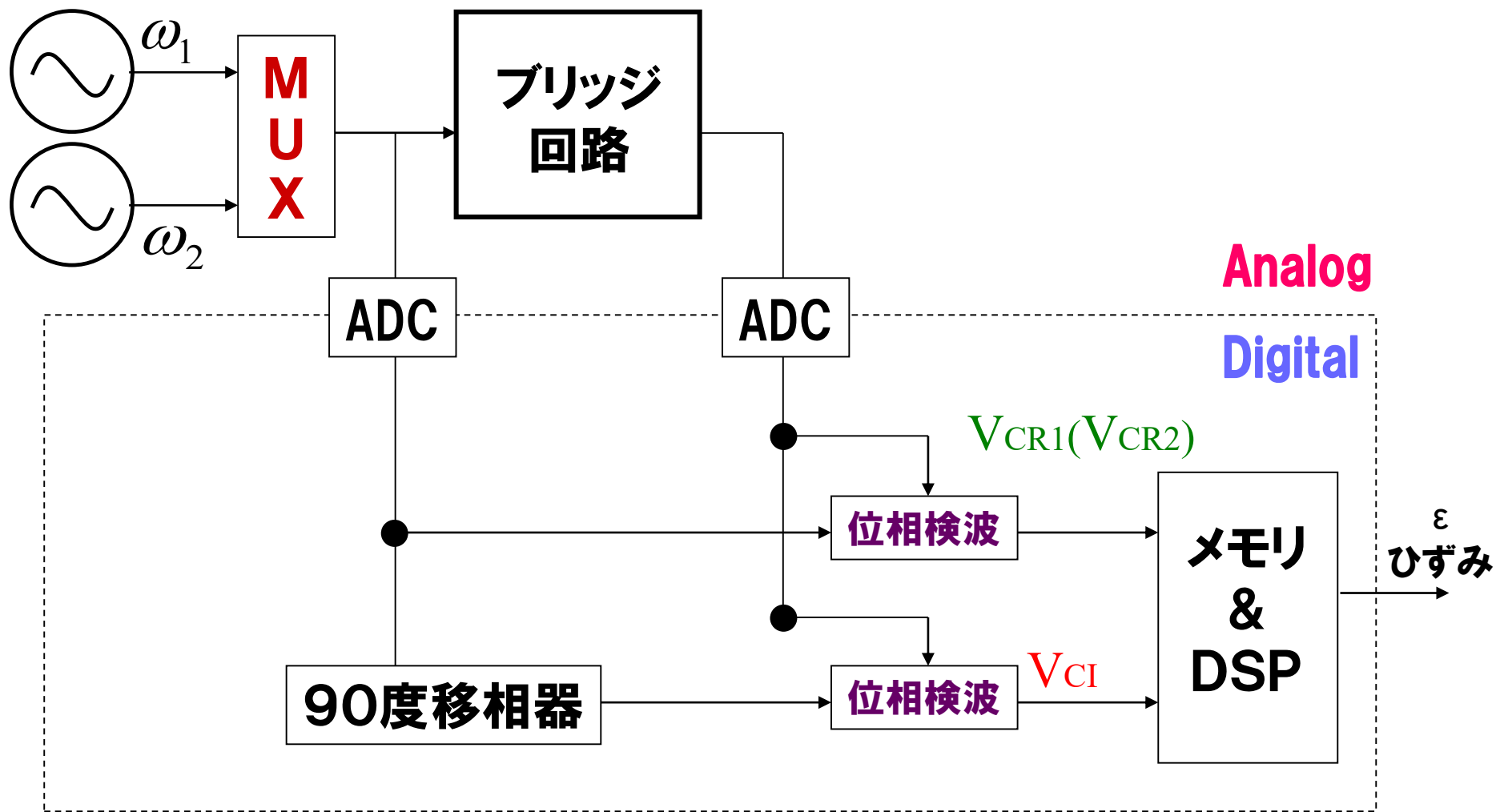
デジタル的にひずみを検出する システムの提案



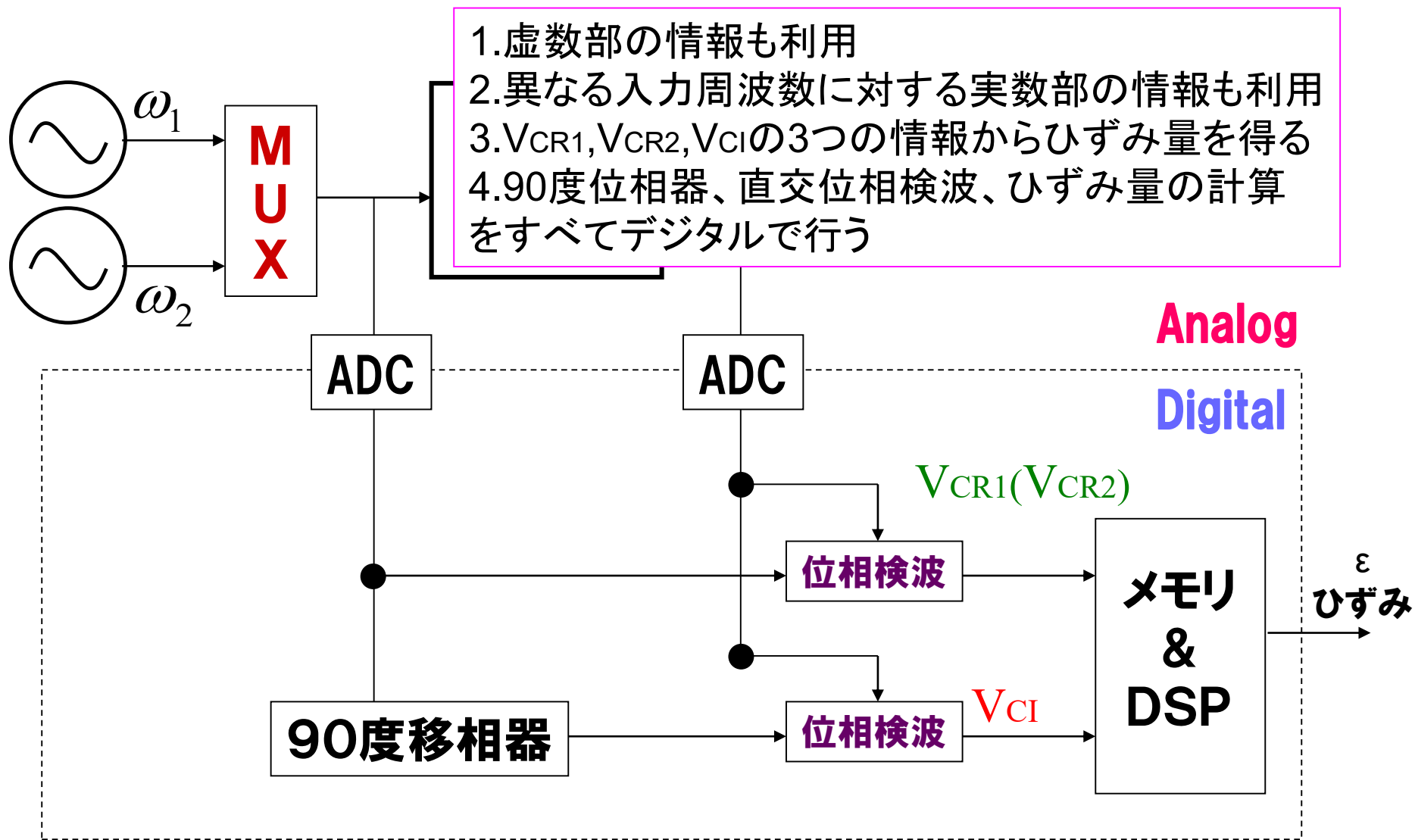
デジタルひずみ検出システム



デジタルひずみ検出システム



デジタルひずみ検出システム

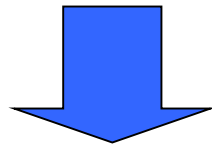


提案方式の利点

ブリッジ回路の入出力信号→AD変換器→デジタル演算



アナログ演算の場合のノイズ、ドリフト、非線形性の影響を
除去可能



後段の回路をデジタル的に扱う
ことにより...

◇小規模で実現可能

◇高精度な動ひずみ測定が実現可能

発表内容

1. 研究背景・目的

2. ひずみ測定の調査

2.1. ひずみ測定

2.2. 荷重計設計・試作・評価

3. 高精度交流型動ひずみ測定回路

3.1. 現状の問題点の抽出

3.2. 問題解決の提案

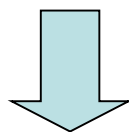
▶ 4. まとめ・今後の課題

まとめ

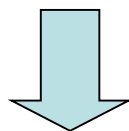
- ひずみ測定の調査
 - 既存の理論の調査
 - 試作、設計、評価により、一般原理を調査
- 動ひずみ測定高精度化への新たな問題点抽出
- 問題点改善方式を提案
 - 1.寄生容量の影響の解析
 - 2.寄生容量キャンセル方式の提案
- デジタル的にひずみを検出するシステムを提案

今後の課題

デジタルひずみ検出システムの実現



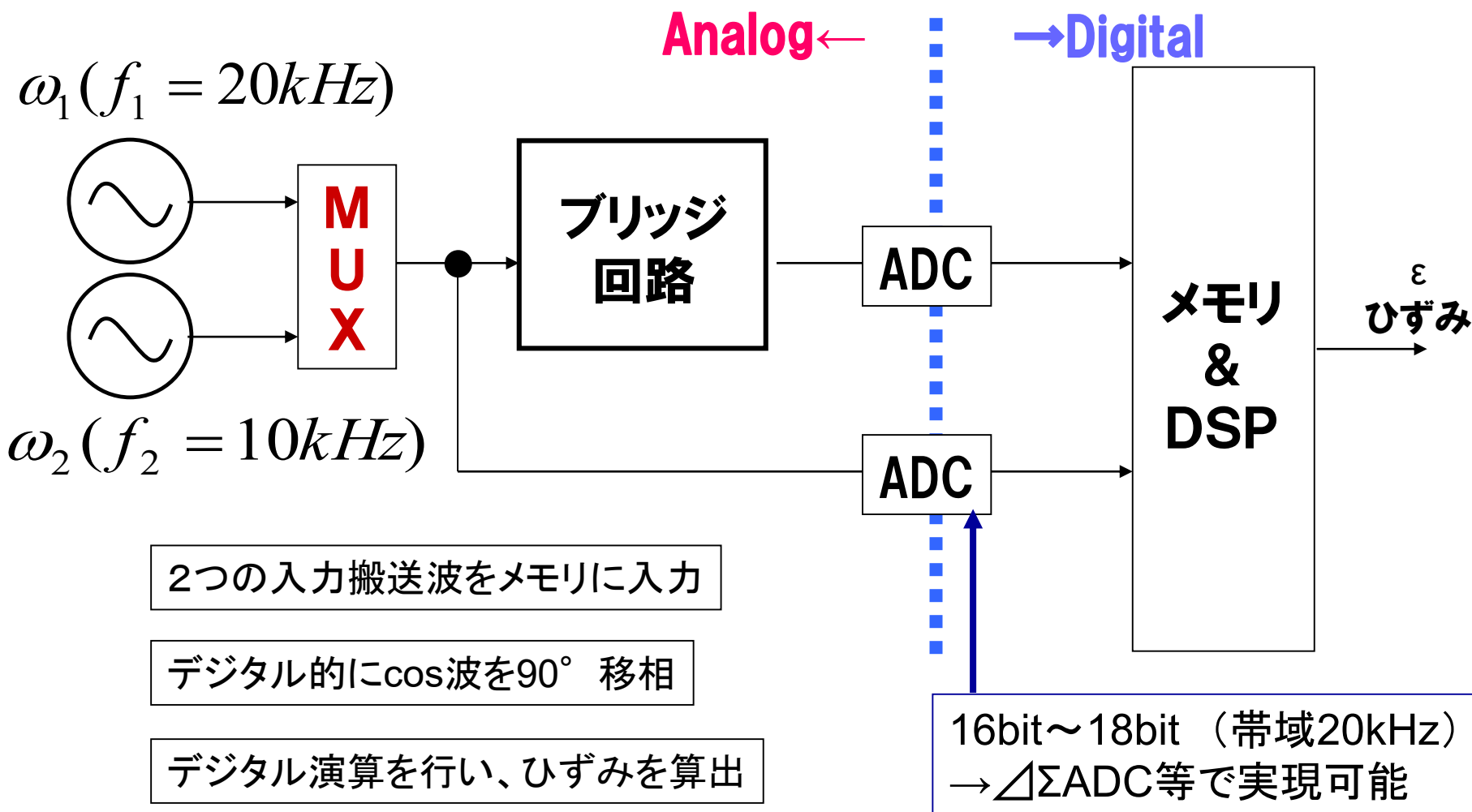
- ハードウェアの開発
- プログラムの開発、演算



実際の測定の
寄生容量及び、ひずみ値との検証

終わり

デジタルひずみ検出システム



デジタル的に処理する！

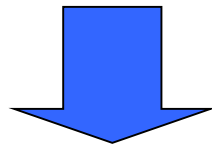
提案方式の利点

ブリッジ回路の入出力信号→AD変換器→デジタル演算



アナログ演算の場合のノイズ、ドリフト、非線形性の影響を
除去可能

- 直交位相検波のため、入力余弦波から正弦波をデジタル的に構成すればアナログの90度位相シフト回路の非理想特性の問題回避が可能
- 直交位相検波のときの乗算および低域通過フィルタリングもデジタルで行う



高精度な動ひずみ測定が実現可能

Business Trip Report in ITC-India 2019

ITC アジア委員、ローム 佐藤 賢央

2019年 8月 2日

日時： 2019年 7月 21日～7月 23日

場所： Bangalore(India) at The Leela Palace Bengaluru

目的： ITC-Asia からの招待プレゼン、業界動向調査



ITC-India とは？

ITC (International Test Conference) が毎年アメリカで開催されている。この ITC のサテライトカンファレンスとして ITC-Asia と ITC-India が創設され、今年で 3 回目の開催となる。ITC の目指すゴールは、世界中のテスト分野のコミュニケーションを行うことができる場を提供することで、アジアとインド地域にも広げている。ITC-India は全会合バンガロールで開催されており、今年は、ITC-Asia2019 と ITC-India2019 で優秀論文をお互いに推薦しあい、発表するセッションができた。ITC-Asia2019 で採択されている、群馬大学佐々木氏の論文が ITC-India2019 の優秀論文に選ばれ、共著者であるロームの佐藤が発表することとなった。



ITC-Asia サイト: <http://www.itc-asia.info.hiroshima-cu.ac.jp/2019/>

ITC-India サイト: <https://itctestweekindia.org/>

Venue

Bengaluru(英 : Bangalore)

デカン高原の南、カルナータカ州南西部のマイソール高原の上に位置し、標高は 920m。ニューデリーが熱波で 48 度を記録したというニュースが流れている中、7 月の気温は 22 度前後で非常に過ごしやすい気候。バンガロールはインドのシリコンバレーと呼ばれている IT 都市。ITC-India 開催中の 22 日に月面探査機 Chandrayaan-2 の打ち上げを成功させ、Keynote ではスライドに打ち上げ写真を映し出し、会場でも大きな盛り上がりを見せていた。



ITC-India 2019

開催場所の The Leela Palace Bengaluru は、バンガロールでも有数の高級ホテル



Entrance



Registration



Registration

7月21日(日) Tutorials

Sunday, July 21, 2019			
REGISTRATIONS			
TRACKS	TRACK 1 Session Chair Ishi Abraham	TRACK 2 Session Chair Sivaramanian	TRACK 3 Session Chair Venketa Rangam Totakure
HALL NAME	Grand Ball Room	Turret	Royal Ball Room
9:30 am - 11:00 am [15 mins. Break] 11:15 am - 12:45 pm	T1: Memory Test and Repair in FinFET Era Yervant Zorian (Synopsis)	T2: Expanding the Validation Coverage - continuance from Pre-Silicon to Post-Silicon Nagabhushan (Intel), Geunye Verma (NXP), Gupta Ashish (NXP)	T3: AI Chip Technologies and its DFT Methodologies Yu Huang (Mentor), Rahul Singhal (Mentor), Lee Harrison (Mentor)
12:45pm - 1:45pm LUNCH BREAK			
1:45 pm - 3:15 pm [15 mins. Break] 3:30 pm - 5:00 pm	T4: Creation and Selection of Fault Models for Defect Based Testing Rubin Parekhji (TI), Wilson Pradeep(TI)	T5: Challenges and Best Practices on ATE Load Board Design Gowri Shankar (Tosolva), Jagadish (Tosolva), Srinivasan, C (Tosolva)	T6: Practical Hierarchical Test Strategies for SoCs of Today and Tomorrow Jay Jahangiri (Mentor), Nagesh Tamarepalli (ANAD)

Tutorial 参加者の割合は、インダストリアルとアカデミックで半分半分だった。アカデミックの女性の方は、サリー(インドの民族衣装)を着ているのが印象的だった。学校の制服とのこと。

7月22日(月) Conference



Grand Ball Room ステージ



インドの伝統? Chair が順番に火をつけていた

Monday, July 22, 2019		
8:00am-9:30am	REGISTRATIONS	
9:35am-9:40am	Inauguration/Welcome Nalin Bidwai, General Chair, ITC India	
9:40am-9:45am	Special Talk on "ITC 50 Years" Dr. Yervant Zurian, General Chair, ITC US	
9:45am-10:20am	Keynote 1: "Automotive electronics – the key driver of innovation is quality of test" Dr. Shoush Rizki, Member, a Siemens Business	
10:20am-10:55am	Keynote 2: "Test – the wild west of advanced nodes Discontinuities coming in test development" Michael Campbell, Qadronix	
10:55am-11:15am	TEA/COFFEE BREAK SESSION	
SESSIONS	Session 1 - Debug & Diagnosis Session Chair Pramod Nooliyath	Special Session 1 - Defect based Test Session Chair Arvind Jain
HALL NAME	Grand Ball Room	Royal Ball Room
11:15am-12:45pm	<p>1.1 Improved Diagnosis Methodology for Multi-Defect Scenarios in High-Compression Scan-Based Designs <i>Manish Nandakumar, Sameer Chhlinge, Anil Malik, Atul Chhabra, Wilson Pradeep and Prakash Narayanan</i></p> <p>1.2 High Throughput chain diagnosis methodology with minimal failure data collection <i>Anil Malik, Atul Chhabra, Manish Nandakumar, Sameer Chhlinge and Kamika Kamal</i></p> <p>Improving Diagnosis Resolution and Performance at High Compression Ratios (Invited paper) <i>Sameer Chhlinge, Atul Chhabra, Anil Malik, Manish Nandakumar, Jay Swarnika, Krishna Chakraborty</i></p>	<p>S1.1 Defect Location Identification for Cell-Aware Test <i>Somesh K Anilge</i></p> <p>S1.2 Utilizing Delta IDDQ to Screen Cell Specific Defects for High Quality and Reliability Applications <i>Ajay Rameshbabu</i></p>
12:45pm-1:45pm	LUNCH BREAK	
HALL NAME	Grand Ball Room	
1:45pm-2:15pm	Panel Discussion: Functional Safety Test Solution: Requirement or Marketing Buzz	Exhibit/Booth
2:15pm-3:15pm	Panelist: Punit Kishore, Nilayn Mukherjee, Adit Singh, Prasenjit V, Amit Agarwal	
3:15pm-3:30pm	TEA/COFFEE BREAK SESSION	
SESSIONS	Session 2 - Test Cost Session Chair Wilson Pradeep	Special Session 2 - mmWave Test Challenges Session Chair Abhishek Choudhary
HALL NAME	Grand Ball Room	Royal Ball Room
3:30pm-5:00pm	<p>T.1 Test cost reduction through increase in multi-site testing with reduced scan-out pins <i>Jadev Shetty, Kunal Kamal, Kelly Ockunzy and Vinodkumar Singh</i></p> <p>T.2 Demonstration of On-Chip Test Decompression for EDT using Binary Encoded Neural Autoencoders <i>Prayansh Dandia, Shalvi Singh, Garima Gill, Anshu Singh Gargwal, Ranjan Ganesh Pandurang and Kunal Chakrabarti</i></p> <p>Advanced Techniques for At-speed Exception Analysis (Invited paper) <i>Omar Sharif Chaudhry, Abhishek Bhattacharya, Piyush Agrawal, Gaurav Srivastava, Kamlesh Bhasaniya and Mahesh Rawal</i></p>	<p>S2.1 mmWave challenges in test <i>Prof. Gaurav Bhatnagar</i></p> <p>S2.2 mmWave Test solution <i>Sudhakar Babu</i></p>
5:30pm-6:30pm	Evening Cultural Program	
6:30pm-9:00pm	Banquet Keynote: "Moving Test to the Fast Lane: New paradigms leaves existing test throughout in the dust" Steve Peters, Synopsys, NE (VeriOrchestr) Global R	

Keynote1

Automotive Electronics – The Key Driver Of Innovation In Quality Of Test

Dr. Janusz Rajski, Mentor, a Siemens Business

自動車のエレクトロニクスは革新のキードライバーである。ADAS 関連は年 9%と急速な伸びを示している。また、プロセステクノロジーの進化にともない約 90%の新しいタイプの Defect が出現した。そして、自己診断技術も大幅に向上してきた。機能安全(ISO26262)など、テストに対する要求も非常に厳しい。車載グレードは欠陥を考慮した ATPG、例えば内部セルのブリッジやオープン、レイアウトや構造を考慮した Cell Aware テストも必要になる。DFT に関しては、高効率な Streaming SCAN、IEEE1149.10 HSTAP を使ったマルチ BIT DFT などが考えられる。将来は、IN-System-Test において SCAN、LBIST 等の DFT 技術がカバレッジを維持するために活用されていくだろう。

Keynote2

Test-The Wild West Of Advanced Nodes; Discontinuities Coming In Test Development

Michael Campbell, Qualcomm

携帯電話の世界は、3G から 4G に進化し、現在 4G から 5G へ進化しようとしている。携帯電話の進化が Ultra-Complex-SoCs の進化をドライブしてきた。FIN FET に関しても、階層構造、低電力化、マルチゲートと進化し、FF の数も 2.5 倍に増加している。これが System-Level になると 100~200M の Un-detectable Fault が含まれるようになり、非常に多くの Test Gap が発生する。ATE に関しては、Test Vector が約 24 倍になるためメモリーが足りなくなる可能性がある。DFT はインダストリーの挑戦であり、テストタイムと DPPM のバランスを考えることも必要となるだろう。テストコストは、4 倍から 5 倍に膨れ上がると予想される。この問題を解決するためには、EDA ツール、ソフトウェアツール、ATE のシームレスな統合が必要になり、Vector のチューニングや、膨大なデータ解析、フィードフォワードに ML (Machine Learning) 技術も必要となるであろう。



Keynote3

Moving Test To The Fast Lane: New Paradigm Leaves Existing Test Throughput In The Dust

Steve Pateras, Synopsys

アプリケーションの進化にあわせてテスト技術は進化してきた。デジタルに関して言えば、Functional I/O から、SCAN I/O、SCAN Compression へ。次は何か？新しいパラダイムとして、High Speed I/O があり、DFT 等のテストアプリケーションをコントロールするために、この Functional I/O を利用する事になる。そして、「HSIO2DFT Controller」を実装することになるだろう。また、Adaptive テストは、In-Field Test での学習データを利用し、より高度な Adaptive Intelligent Testing が必要となる。

7月23日(火) Conference

Tuesday, July 23, 2019	
8:30am-9:30am	REGISTRATIONS
9:30am-9:45am	Welcome / Day 1 Summary Basim Bahadur, General Chair, ITC India
9:45am-10:20am	Keynote 3: "The Evolving Business Case for DFX" Kaushik Narayanun, Nvidia
10:20am-10:55am	Keynote 4: "IC Test - Where the Excitement Never Ends" Ankil Kumar, Cadence
10:55am-11:15am	TEA/COFFEE BREAK SESSION
SESSIONS	Session 3 - Silicon Validation Session Chair Sathya K Special Session 3 - Automotive Test Session Chair Ewan Vaillemard
HALL NAME	Grand Ball Room Royal Ball Room
11:15am-12:45pm	3.1 Leveraging IEEE 1850 Property Specification Language and Mixed-Signal Assertions for Post-silicon Verification of Automotive Power Devices <i>Tharun Arinamin</i> , Manoj Ramani, Bowen Evermann and Georg Pitz 3.2 Applications of test techniques for improving Silicon to Pre-silicon timing correlation <i>Reneha Lakshmi</i> , Kevin Zhou, Jassan Kamen, Trivadi Raja, Mahendran P, Karthi Jash, Prashant Singh, Vinayak Srinath, Jonathan Colburn and Sarvesh Sharma 3.3 Debug for root causing SRAM degradation due to either in high performance pipeline ADC <i>Vijayakrishna Venkatesh</i> , Vijayashanthi Nagarajan and Rameshkumar Jash 53.1 Automotive Test Challenges <i>Prof. Ashi Singh</i> 53.2 Deterministic Stellar BIST for In-System Automation Test <i>V. Liu, N. Mahalingam, J. Rossi, S.M. Rindby, J. Tyson</i>
12:45pm-1:45pm	LUNCH BREAK
SESSIONS	Special Session 4 - ITC ASIA Invited Papers Session Chair Suresh Chandra Special Session - Academia Connect Session Chair Vinod Srivastava
HALL NAME	Grand Ball Room Royal Ball Room
1:45pm-3:15pm	54.1 An Empirical Approach to RTL Scan Path Design Focusing on Structural Interpretation in Logic Synthesis <i>Takashi Inagaki</i> , Sho Yuasa, Hiroyuki Ichihara and Tomoe Inoue 54.2 Optimization of Cell-Aware ATPG Results by Manipulating Library Cells' Defect Detection Matrices <i>Zhen Qian, Erik Jan Marinissen, Min-Chun Hu, Joseph Swartzby, Suresh Chandra, Jay Mahajan and Eyal Ginzburg</i> 54.3 Accurate and Fast Time Testing Technique of Operational Amplifier DC Offset Voltage in μV -order by DC-AC Conversion <i>Yuto Sasaki, Kenji Mochida, Riku Aoki, Shogo Kobayashi, Takayuki Nakatani, Jianfeng Wang, Kenji Sato, Takashi Ishida, Toshiyuki Okamoto, Tetsuo Ichikawa, Aoki Kawano, Kazumi Hatakeyama and Hiroo Kobayashi</i> Academia Connect Moderator: Vinod Srivastava
3:15pm-3:30pm	TEA/COFFEE BREAK SESSION
SESSIONS	Session 4 - Beyond Chip Test Session Chair Kavitha Shankar Special Session 5 - Test Challenges Session Chair Ramkishan Pandey
HALL NAME	Grand Ball Room Royal Ball Room
3:30pm-5:00pm	4.1 Hybrid emulation approach in ISO 26262 compliant unit test process <i>Nandini Varma Akoni</i> , Pradeep Raddi Sikan and Harish Narayanaswamy 4.2 A hierarchical approach to self-test, fault-tolerance and routing security in a Network-on-Chip <i>Ravi Kumar C.R.</i> , Kambhampati Swamy and Urs B.V. 4.3 GPU-IBM SP Interconnect Link Testing and Repair <i>Anandhi Elam</i> , Himakshi Kothhalli, Thejaswan Reddy, Sreeraj Grewal, Seth Chou and Colin Lee 55.1 Test Challenges for Low Power SoCs <i>Jay Abraham</i> 55.2 Server DFT Challenges <i>Ramkishan Pandey</i>
5:00pm-5:30pm	Closing Ceremony

Keynote4

The Evolving Business Case for DFX(※)

Kaushik Narayanun, Nvidia

Cloud、HPC、Server、Gaming の分野で、大量の GPU が使われている。AI の普及により、専用計算エンジンを持つ GPU の需要は更に高まるであろう。In-System-Test においては、品質の向上は、Deep Learning 技術にかかっている。電力予測などへの適合などが例としてあげられる。巨大なエコシステムの成長により、「Structural Test is Functional Application」になる。

(※) DFX : デザイン for 組立、低環境負荷、テスト、製造、保守 などの総称

Keynote5

IC Test-Where the Excitement Never Ends

Rohit Kapur, Cadence

Machine Learning は、セキュリティ、車載 IC に使われ始めている。このようにテクノロジーの進化には、必ずバックストーリーがあり、テストも同様である。テスト技術の進化の例を以下に示す。

D-Algorithm : 1966 年に IBM で開発された最初のテストパターン生成アルゴリズム

PODEM : 1981 年に開発された、高速テストパターン生成アルゴリズム

Illinois Scan : SCAN テストの実効時間短縮手法

これからの進化の過程でも、恩恵をクリアにする必要がある。例えばリードタイム短縮、単純化した解決手法など。Physically Aware Compression が有効な解決策となるだろう。

「Special Session4 ITC ASIA Invited Papers」にて発表

Accurate and Fast Testing Technique of Operational Amplifier DC Offset Voltage in μV -order by DC-AC Conversion



発表の雰囲気



会場の様子

発表は、 μV オーダー電圧の測定には、テスト環境のシステムノイズ、マルチ化による生産性、熱起電力の 3 つの問題があり、提案手法である DC-AC 変換により問題を解決したという内容。プロトタイプ試作による実験で、 $0.2\mu\text{V}$ まで電圧測定、4 マルチ同時測定を実現した。質疑ではシステムノイズのキャンセル方法などに関する様々な意見をいただくことができ、今後、研究を進めていく上で非常に重要なヒントとなった。(発表 25 分+質疑 5 分)



学会貢献に対する感謝として楯をいただいた

企業展示



6 社が展示ブースを出していた。

インドの食事



朝食、昼食、晩御飯全てカレーで過ごした。本場のインドカレーは、美味しいし、それほど辛くはなかった。大きめの赤・青唐辛子が入っており、それを食べなければ「CoCo 壱番屋」の 3 辛レベル。日本に帰国したら、しばらくカレーを食べることはないだろう。

交通事情



- ◇ 道路は日本と同じ左側通行で、車も右ハンドル
- ◇ 空港にいるタクシーは現金しか使えない (注意!)
- ◇ Uber の利用は快適
- ◇ 3 人乗りタクシー「リキシャ」がたくさん走っており、初乗りは 15 ルピー (24 円)
- ◇ 交通量が多く、車は絶えずクラクションを鳴らしている
- ◇ 野良犬がたくさんいる
- ◇ 歩行者の優先度が低く、横断歩道を渡るのに度胸が必要

町並み

Commercial Street



露天も含めて小さな店が密集している。

空港&ホテル

空港 Kempegowda International Airport (BLR)



ホテル Sterlings Mac Hotel



会場から道路を挟んで向かい側に位置している。会場のホテルの 1/2 の宿泊費(¥8,700@泊)。

観光

Shivoham Shiva Temple



ホテルから 970m の場所に寺院を見つけ、徒歩で観光へ。入場料は 150 ルピーか 250 ルピーと言われ、見栄を張ってしまい 250 ルピーを支払った。中でも寄付を求められ、50 ルピー支払い合計 300 ルピーをつかった。洞窟もあり、寺院ではなく人工的なテーマパークのような雰囲気だったが楽しめた。

最後に

ITC-India では、ITC、VTS などのホットトピックスである、ADAS、AI、セキュリティは少なく、SCAN 等のデジタルバックエンド系の発表が多かった。これは、インドの特徴といえる。また、参加者は、アカデミックとインダストリーで、半分半分だった。ほとんどの参加者はインドからの参加で、日本人参加者は、私と広島市立大学岩垣助教の 2 人のみ。岩垣助教も ITC-Asia からの推薦で、同じセッションの発表者だった。

インドの人はみんな親切。Sameer さんは、お土産にスパイスを買いたいと相談したら、車でマーケットに連れて行ってくれた。Thank you Sameer!! ホテルの従業員も、寺院の場所を聞いたら親切に教えてくれた。

インドでは、「YES」と言いながらクビを横に振り、「NO」と言いながらクビを縦に振る。理解できるまで、非常に困惑した。最後までこれだけは順応することが出来なかった。インドのカレーは辛いというのは、日本人の誤解だとわかった。

参考文献リスト (pdf ファイルを読んでみてください)

- [1] 上森 将文、小林 謙介、光野 正志、清水 一也、小林 春夫、戸張 勉、
「広帯域高精度サンプリング技術」
電子情報通信学会誌 和文誌 C vol. J90-C, no.9, pp.625-633 (2007年9月).

<https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2010/2007-9sampling.pdf>

- [2] 光野 正志、田浦 哲也、鈴木 孝秀、須永 浩誌、山田 佳央、木村 圭吾、森村正直、
岡野 晴樹、岩崎 正美、宅野 弘行、鈴木 光正、篠田 幸雄、小林 春夫
「動ひずみ測定ブリッジ回路の高精度化」、
電子情報通信学会誌 和文誌 C Vol.J91-C, No.3, pp.204-216 (2008年3月).

https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/j91-c_3_204.pdf

- [3] IoT 用アナログ IC 試験技術

[https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2018/kiryu-diary\(DCAC\)2018-12-26.pdf](https://kobaweb.ei.st.gunma-u.ac.jp/news/pdf/2018/kiryu-diary(DCAC)2018-12-26.pdf)