

講師紹介

□ 垣尾 省司 (かきお しょうじ)

1967年 京都府福知山市生まれ
 1988年 舞鶴工業高等専門学校 電気工学科卒業
 1990年 山梨大学 工学部 電気工学科卒業
 1992年 東北大学大学院 修士課程 電子工学専攻修了
 1992年 山梨大学 工学部 助手
 2003年 山梨大学 大学院医学工学総合研究部 准教授
 2013年 同 教授

□ 山梨大学優秀教員(2012)

- 専門分野: 通信工学、超音波工学、光エレクトロニクス
- 研究分野: 圧電・弾性波デバイス、光制御デバイス
- 趣味: スキー、釣り、模型製作、家庭菜園

弾性表面波に関する研究と

「キャリアハウス」による理工系人材育成

—高速・大容量無線通信を支える周波数フィルタのしくみ—

平成28年度山梨工業会神奈川支部総会

平成28年6月18日(土)

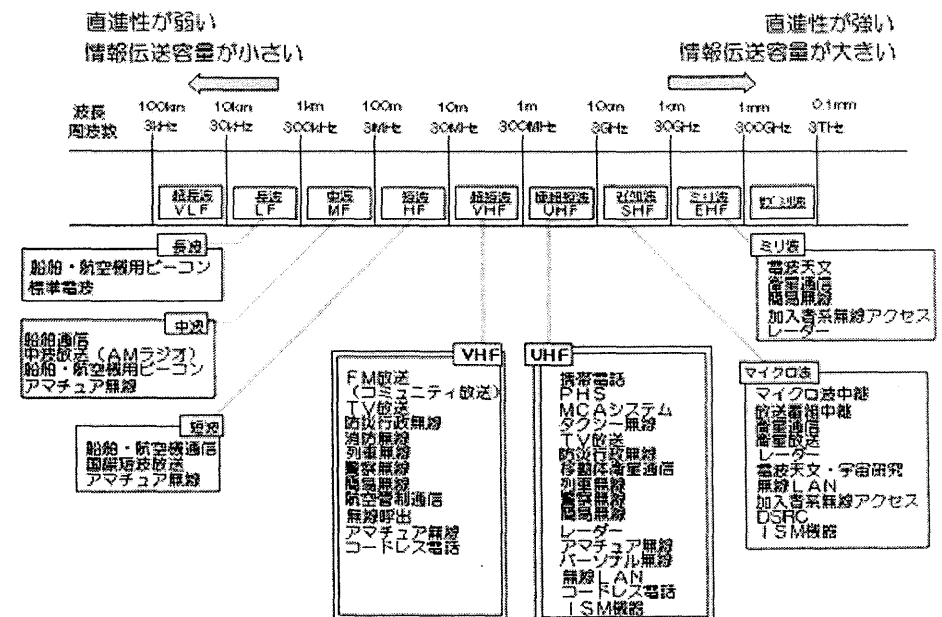
垣尾 省司 (電気H2卒)
 山梨大学大学院総合研究部 教授
 (工学部電気電子工学科担当)



前半の内容

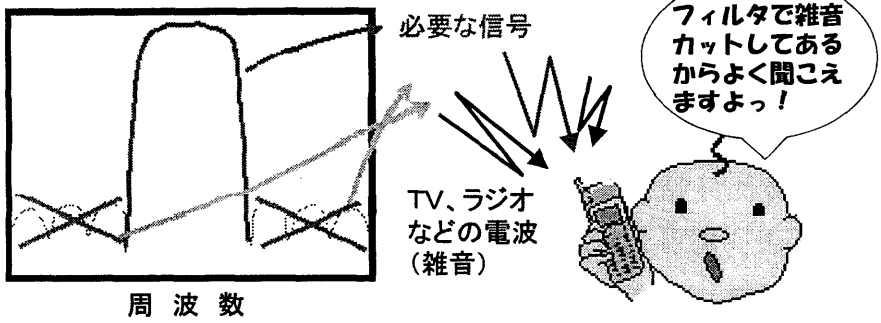
- 周波数フィルタとは?
- コイルとコンデンサの性質とLCフィルタ
- 弾性振動とは?
- 水晶の電気的性質=圧電効果とは?
- 水晶振動子のしくみ
- 弾性表面波フィルタのしくみ
- 研究成果例

電波の利用状況



周波数フィルタとは？

色々な周波数成分を持つ信号の中から
 > 不要な周波数成分を除去
 > 必要な周波数成分のみを取り出す
 回路のこと



周波数

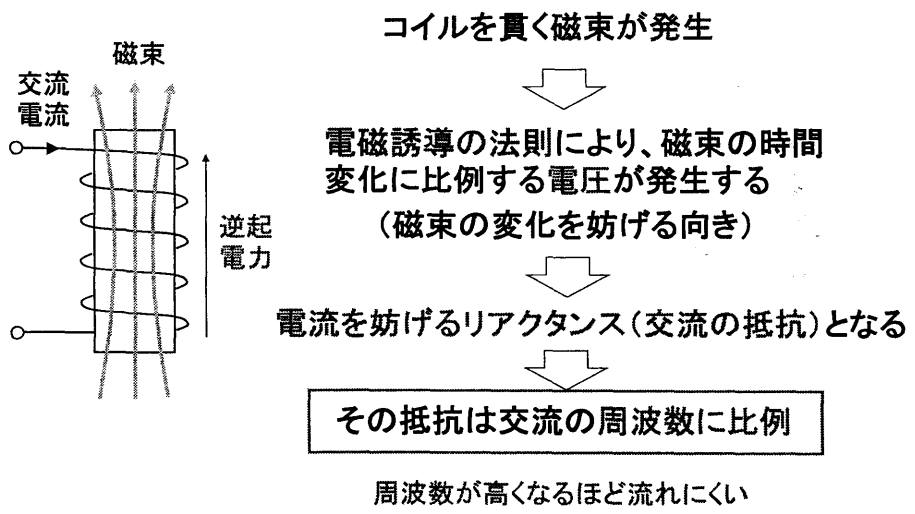
周波数フィルタのタイプ

- > LCフィルタ
 ⇒ コイルとコンデンサを組み合わせた基本フィルタ
- > デジタルフィルタ
 ⇒ 信号をデジタル[0,1]に変換して処理
- > 弾性表面波フィルタ
 ⇒ 水晶などの結晶の圧電性を利用したもの
- > 超伝導フィルタ
 ⇒ 超伝導体の抵抗がゼロになることを利用

※全て山梨大学工学部電気電子工学科で研究でしています！

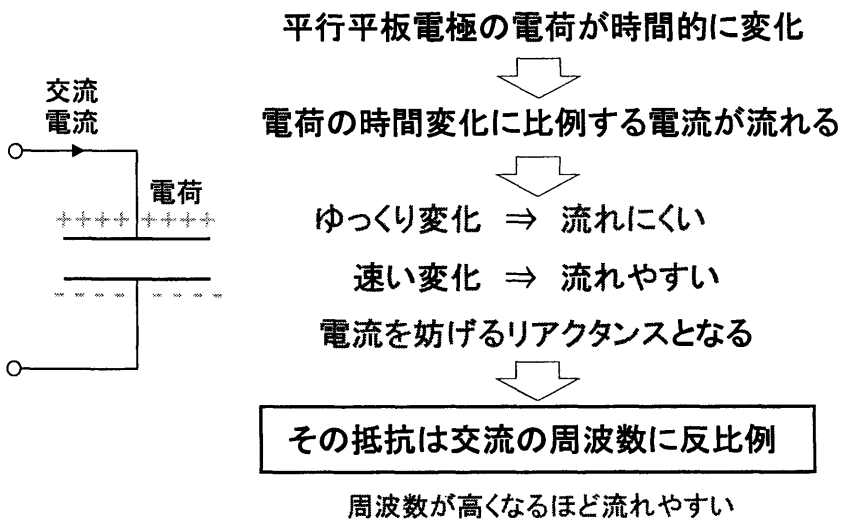
コイル (インダクタ) の性質

コイルは直流に対しては単なる導線ですが (過渡現象を除き)、交流に対しては、



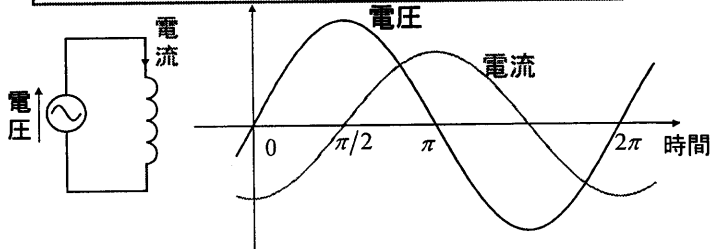
コンデンサ (キャパシタ) の性質

コンデンサは直流を通しませんが (過渡現象を除き)、交流に対しては、

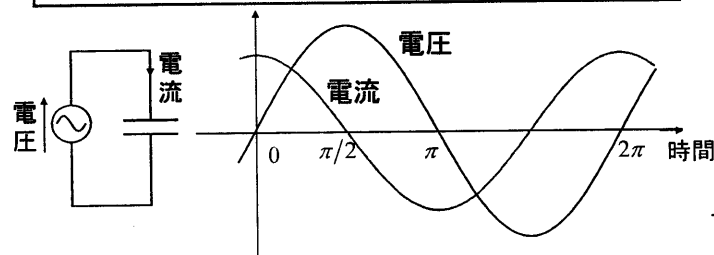


コイル・コンデンサを流れる電流の位相

コイルを流れる電流 ⇒ 90° 遅れます



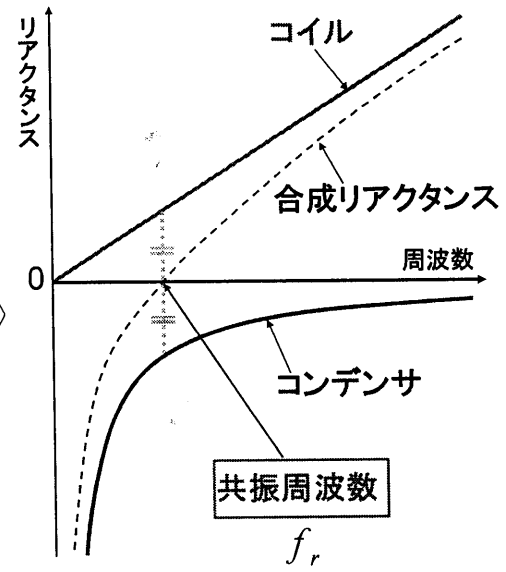
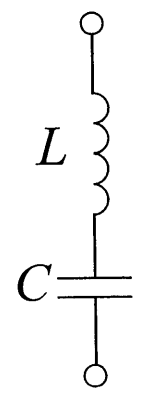
コンデンサを流れる電流 ⇒ 90° 進みます



位相が180° ずれる
リアクタンスは互いに打ち消し合う

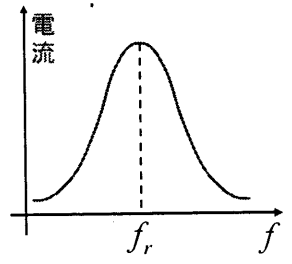
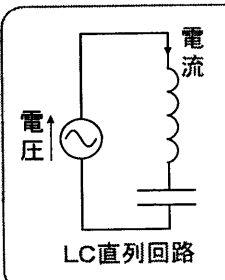
LC直列回路の合成リアクタンス

コイルとコンデンサを直列に接続

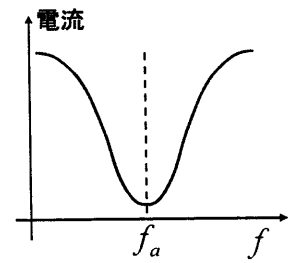
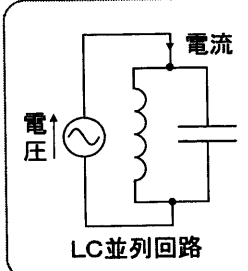


共振周波数でリアクタンスは完全に打ち消し合う
↓
抵抗がほぼゼロになる
↓
非常に大きな電流が流れる

共振と反共振



共振: resonance
共振周波数で非常に大きな電流が流れること

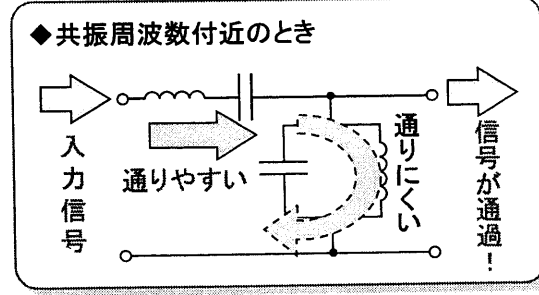
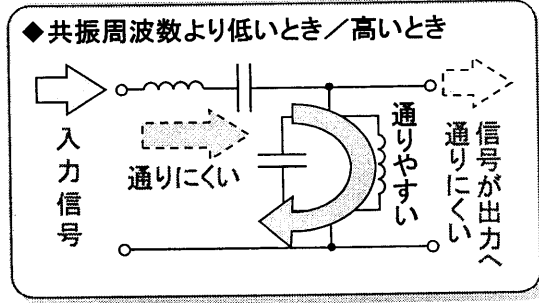
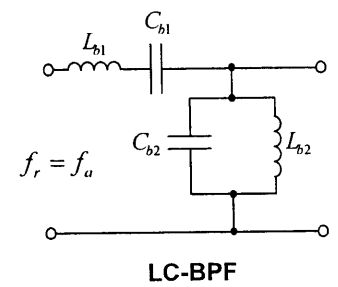
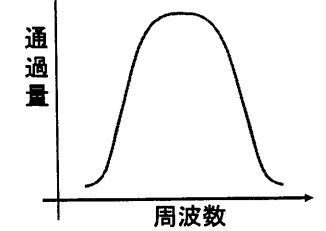


反共振: antiresonance
反共振周波数で電流が流れなくなること

これらを組み合わせるとフィルタを構成できる

LCフィルタ

帯域通過フィルタ (BPF: Band Pass Filter)



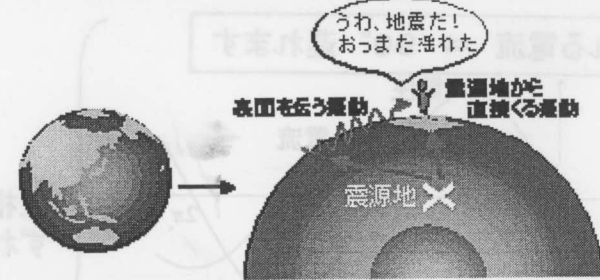
固体の表面は振動を伝えます



この現象の波を『弾性表面波』といいます

SAW: Surface Acoustic Wave

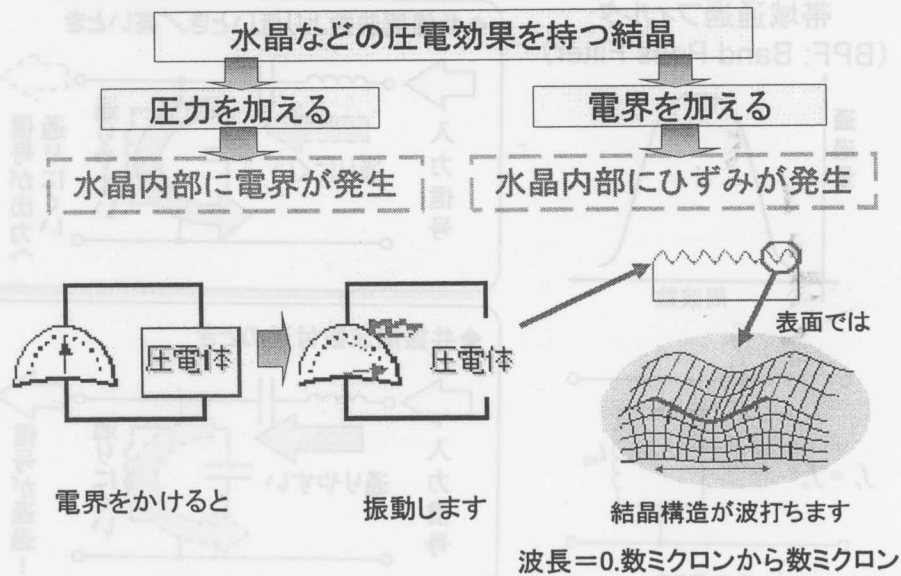
身近な弾性振動＝地震



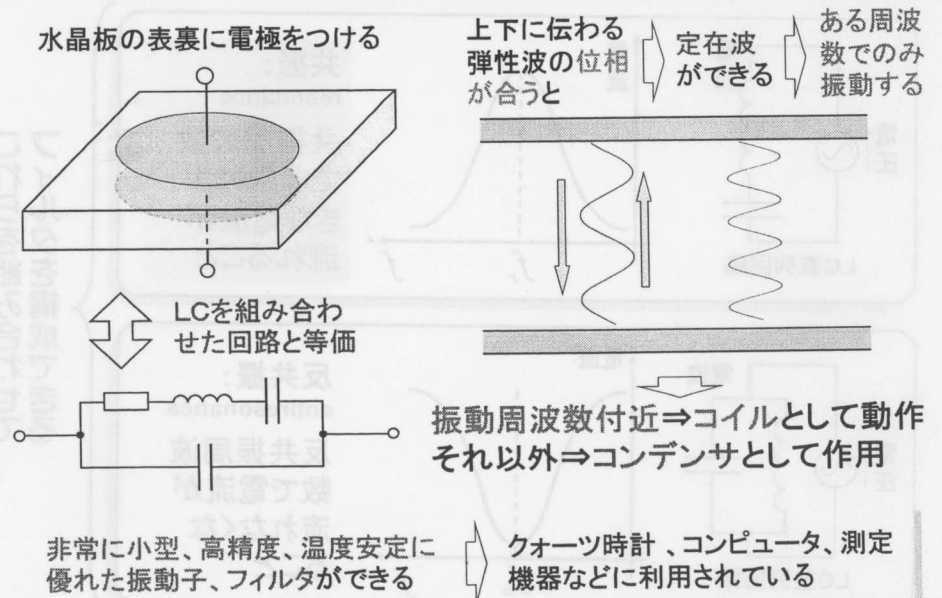
弾性振動の種類	速度 (硬さと密度で決まる)	特徴
縦波(P波)	速い	体積波(バルク波) => 伝搬減衰がある
横波(S波)	遅い	
弾性表面波	さらに遅い	地表面にガイドされて進む => 伝搬減衰がない

・弾性表面波は1885年頃地震学において発見、理論的に証明された

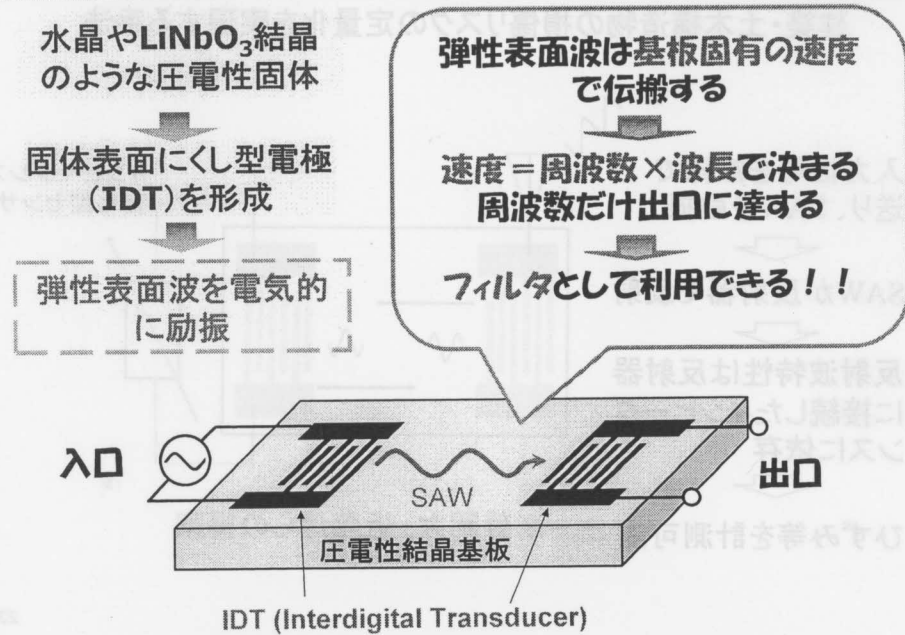
水晶の電氣的性質＝圧電効果とは?



水晶振動子のしくみ

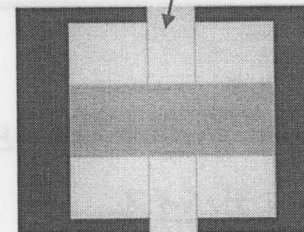
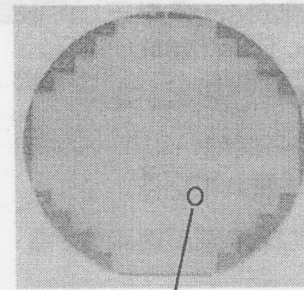


弾性表面波 (SAW) フィルタの原理

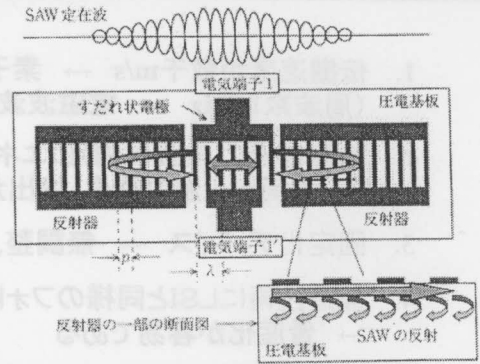


弾性表面波共振子の例

ニオブ酸リチウムウエハ(直径75~100mm)上に多数の共振子電極を形成した試料です

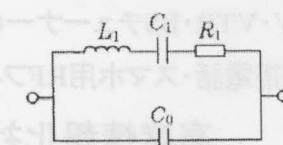


共振子電極の顕微鏡写真



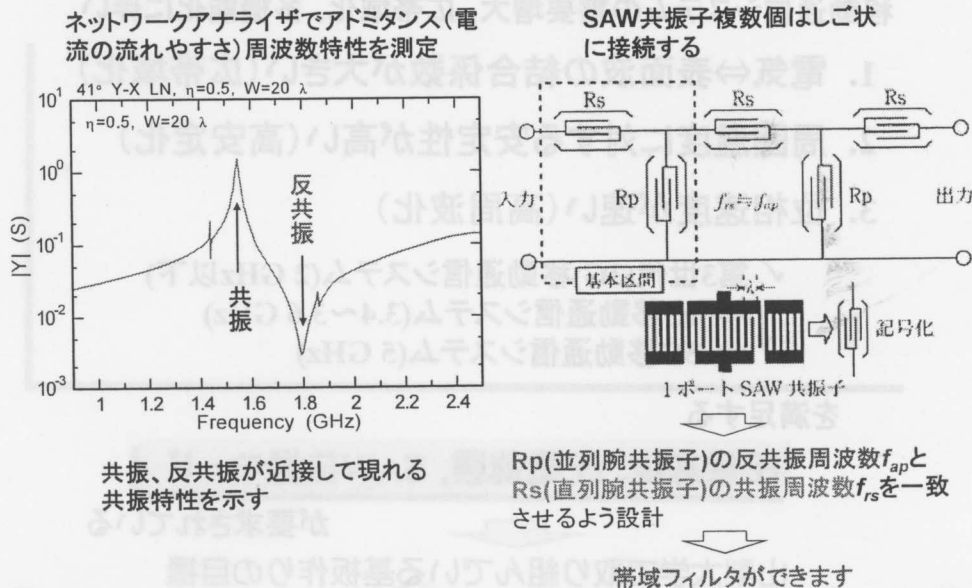
SAW共振子の構造と共振原理

1本の幅は0.6ミクロン

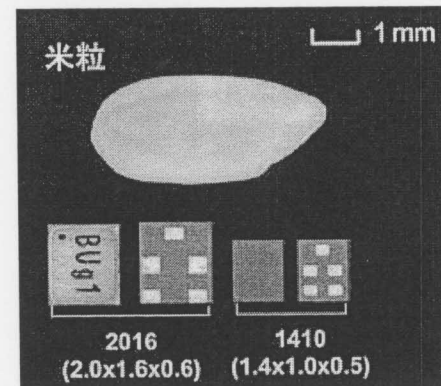


SAW共振子の等価回路

弾性表面波共振子の共振特性

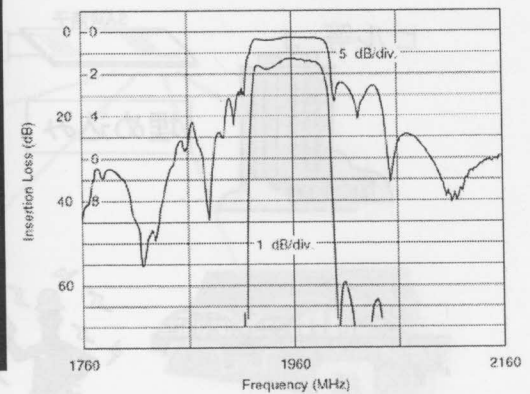


弾性表面波フィルタの実例



<http://massena.la.coocan.jp/>

小型・軽量,
高安定性, 安価



スマートフォン、携帯電話、PDA、ETC、TV、レーダ、光通信などに利用されている

SAWデバイスの特徴

1. 伝搬速度が数千m/s → 素子の小型化(1mm角以下)が可能
(周波数1GHz → 電磁波波長:30cm, SAW:4 μ m)
2. 表面付近(1波長以内)にエネルギーのほぼ90%が集中
→ 表面から波の発生・検出が可能
3. 固定化デバイス → 無調整, 信頼性に優れている
4. 製造技術にLSIと同様のフォトリソグラフィ技術が適用できる
→ 量産化が容易である

- ・TV・VTR・BSチューナーの中間周波数フィルタ
- ・携帯電話・スマホ用RFフィルタ・デュプレクサ, ETC用フィルタなど

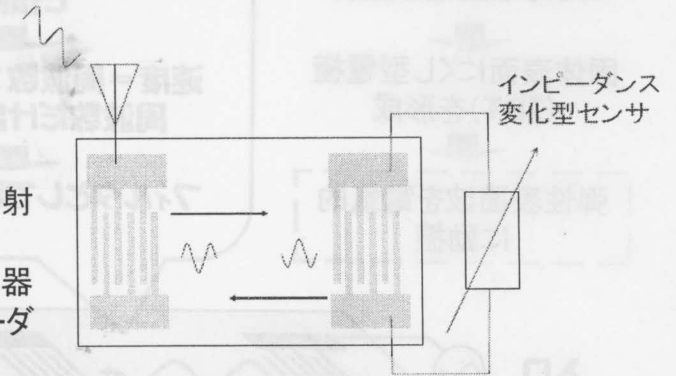
高度情報化社会に不可欠なデバイス

22

構造物ヘルスマモニタリングセンサへの応用研究例

建築・土木構造物の損傷リスクの定量化を実現する手法

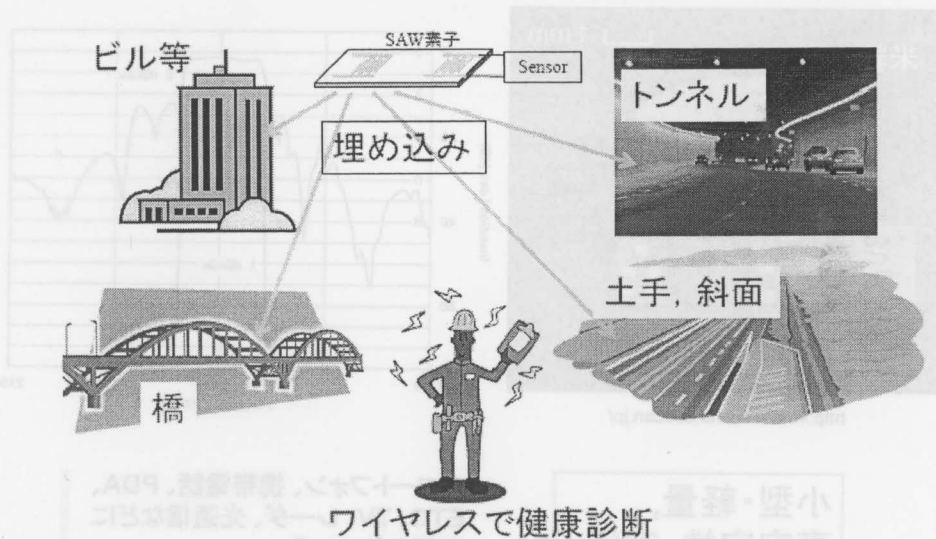
入力信号を無線で
送り、SAWを励振
↓
SAWが反射器で反射
↓
反射波特性は反射器
に接続したインピーダ
ンスに依存
↓
ひずみ等を計測可能



※静岡大 近藤淳らの提案

23

構造物ヘルスマモニタリングセンサへの応用研究例



24

SAWデバイスに要求されている特性

移動通信システムの需要増大, 広帯域化, 多機能化に伴い

1. 電気⇄表面波の結合係数大きい(広帯域化)
2. 周囲温度に対する安定性が高い(高安定化)
3. 位相速度が速い(高周波化)

- ✓ 第3世代(3G)移動通信システム(2 GHz以下)
- ⇒ 4G移動通信システム(3.4~3.6 GHz)
- ⇒ 5G移動通信システム(5 GHz)

を満足する

圧電基板, 圧電薄膜, SAW伝搬モード

が要求されている

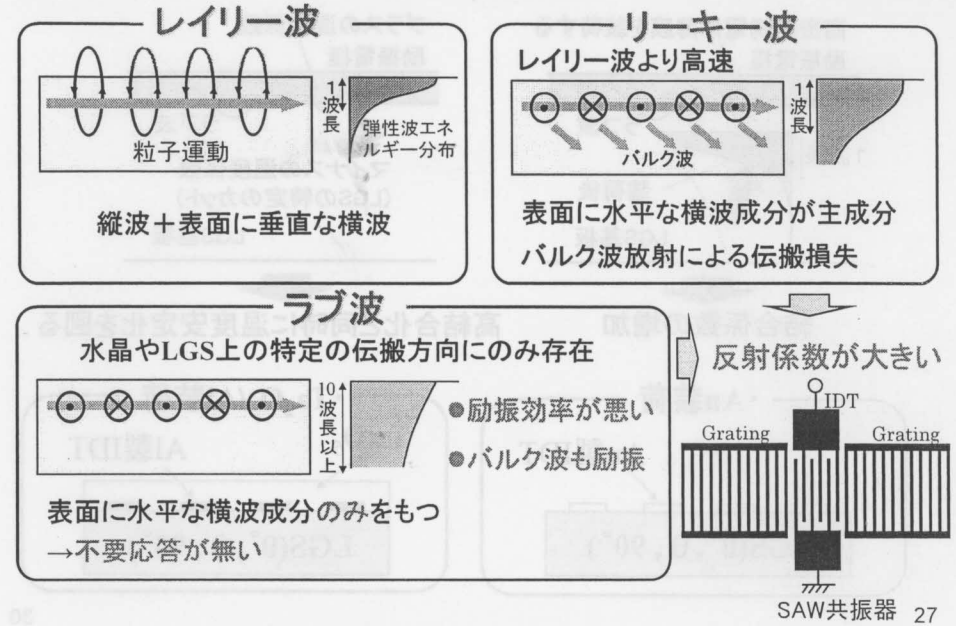
山梨大学で取り組んでいる基板作りの目標

25

代表的なSAWデバイス用基板

材料	モード	カット-伝搬方位	電気機械結合係数		遅延時間 温度係数 TCD (ppm/°C)
			K^2 (%)		
ニオブ酸リチウム (LiNbO ₃ : LN)	レイリー	128° Y-X	5.5		74
	リーキー	64° Y-X	11.3		70
タンタル酸リチウム (LiTaO ₃ : LT)	レイリー	X-112° Y	0.75		18
	リーキー	36~42° Y-X	5.0~7.6		30~40
水晶 (Quartz)	レイリー	ST-X	0.14		0
	ラブ	ST-90° X	0.18		0
ランガサイト (La ₃ Ga ₅ SiO ₁₄ : LGS)	レイリー	50° Y-25° X	0.36		0

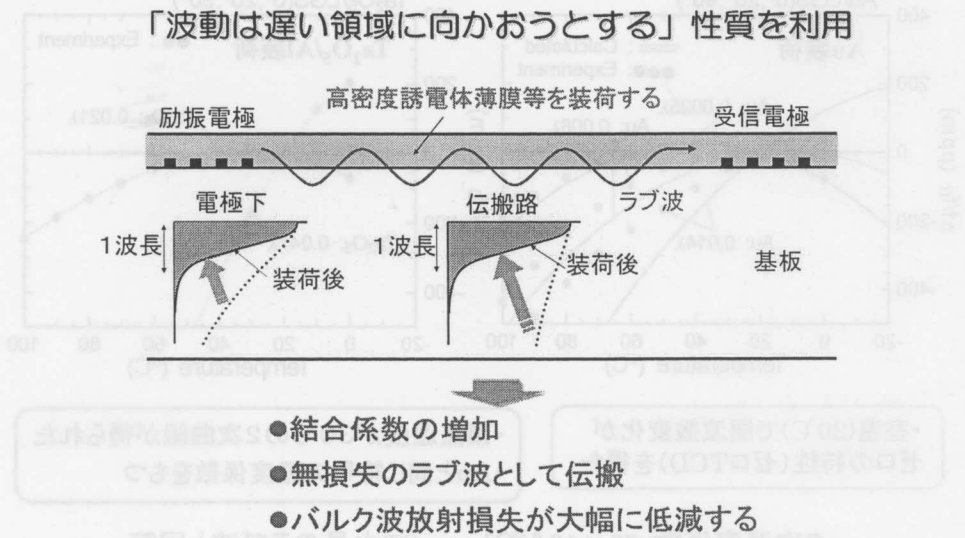
SAW伝搬モード



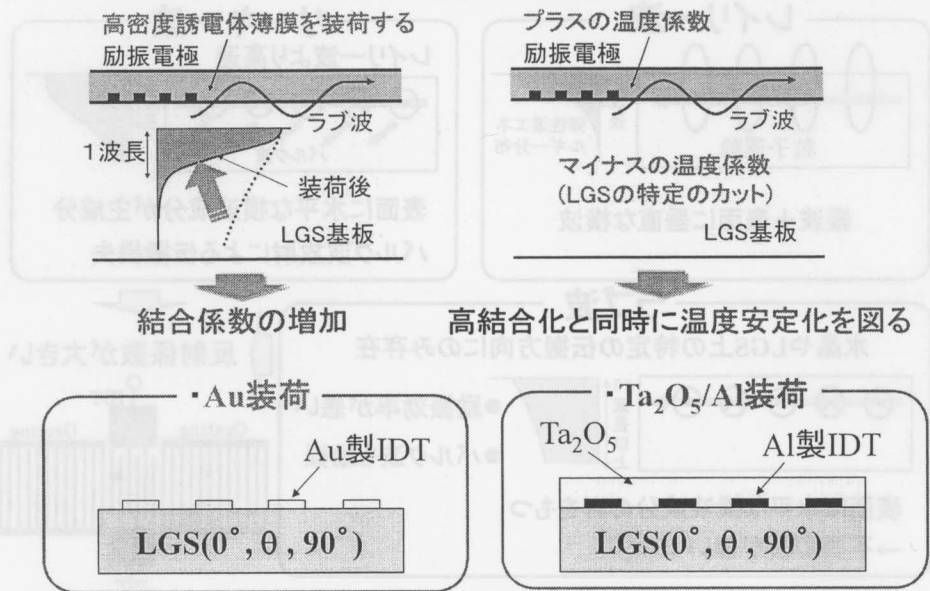
山梨大学で検討された基板構造

装荷膜等	基板	SAWモード	効果
a-Ta ₂ O ₅ 薄膜	ST-90° X 水晶	ラブ波	低損失化・高結合化
	41° Y-X LN	リーキーSAW	低損失化
	X-31° Y LT	縦型リーキーSAW	低損失化
	0~10° -90° X LGS	ラブ波	低損失化・高安定化・高結合化
	Y-X LT	ラブ波	低損失化
Au膜(電極)	0~10° -90° X LGS	ラブ波	低損失化・高安定化・高結合化
TeO ₂ 薄膜	Y-X LT	ラブ波	低損失化
プロトン交換層	41° Y-X LN	リーキーSAW	低損失化
	36° Y-X LT		
逆プロトン交換層	10° Y-X LN	リーキーSAW	低損失化
	X-36° Y LN	縦型リーキーSAW	低損失化
a-AlN薄膜	X-36° Y LN	縦型リーキーSAW	低損失化
	回転Y-X LN, LT	リーキーSAW	低損失化

弾性波トラッピング

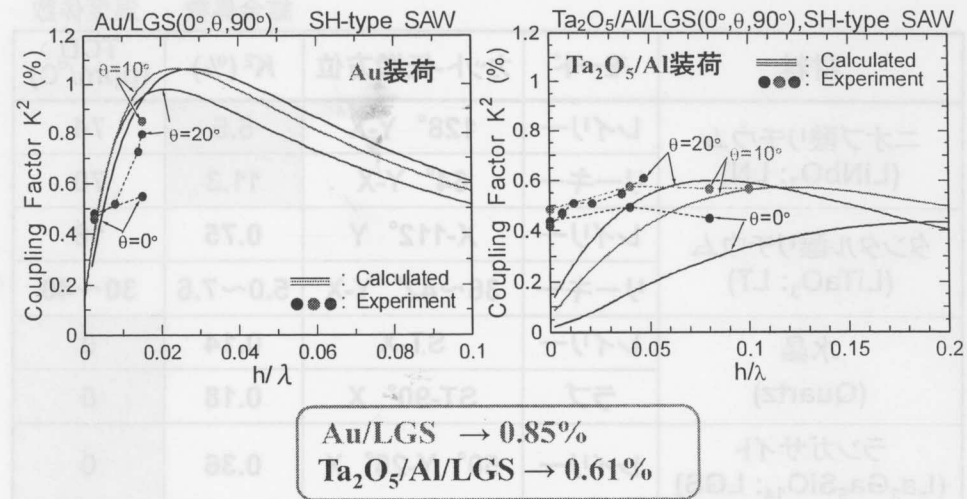


LGS上のラブ波へのアプローチ



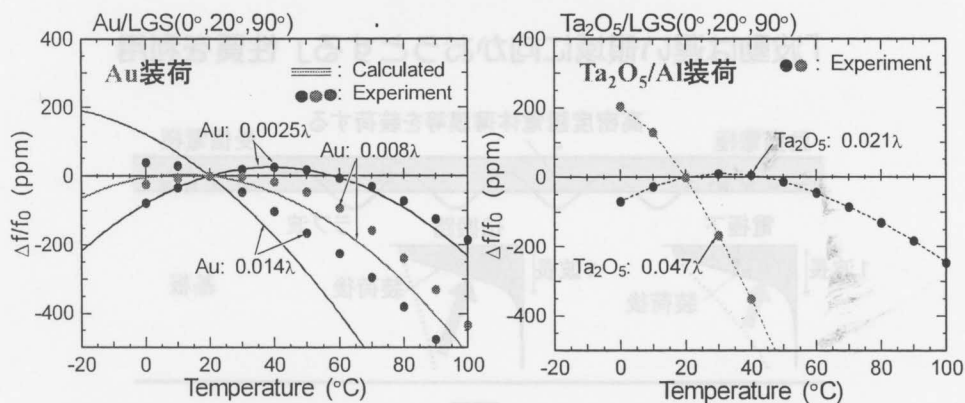
30

結合係数



31

周波数温度変化



・室温(20°C)で周波数変化がゼロの特性(ゼロTCD)を得た

・頂点温度が30°Cの2次曲線が得られた
・Auと同じ符号の温度係数をもつ

・2次温度係数: $70 \times 10^{-9}/\text{C}^2$ → ST水晶のラブ波と同等

32

LGS上のラブ波構造

材料	モード	カット-伝搬方位	K ² (%)	TCD (ppm/°C)
Au/LGS	ラブ	0~10° -90° X	1.0	0
LGS	レイリー	50° Y-25° X	0.36	0
LN	リーキー	64° Y-X	11.3	70
LT	リーキー	36~42° Y-X	5.0~7.6	30~40
水晶	ラブ	ST-90° X	0.18	0

Al/ST-X Quartz
Al/LGS(0°, 140°, 25°) } よりも大きな反射係数を得た

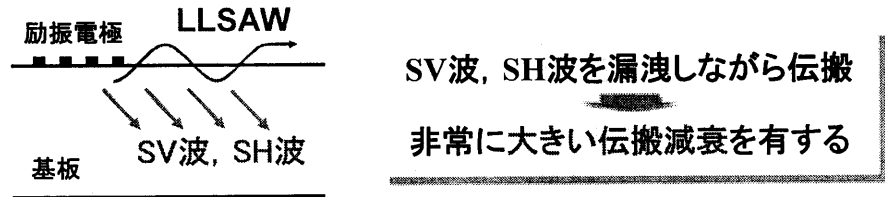
特許第4399587号「弾性表面波素子」

33

縦型漏洩弾性表面波

Longitudinal-type Leaky SAW: LLSAW

バルク縦波に近い位相速度(LSAWの1.5~2倍の速度)
=> SAWデバイスの高周波化に有利な伝搬モードの一つ

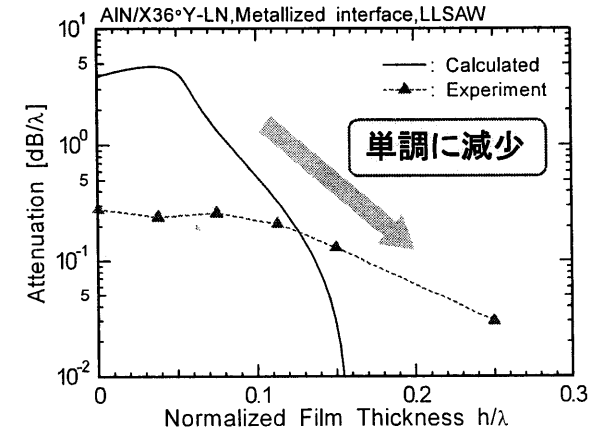
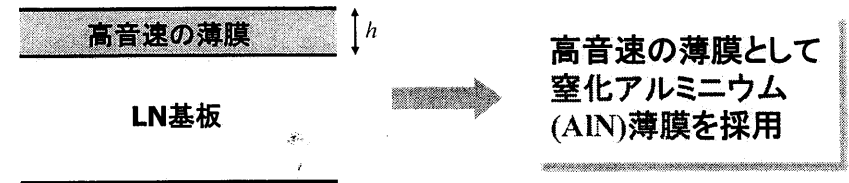


X-cut 36° Y伝搬LN <= 電気機械結合係数(理論値:12.9%)

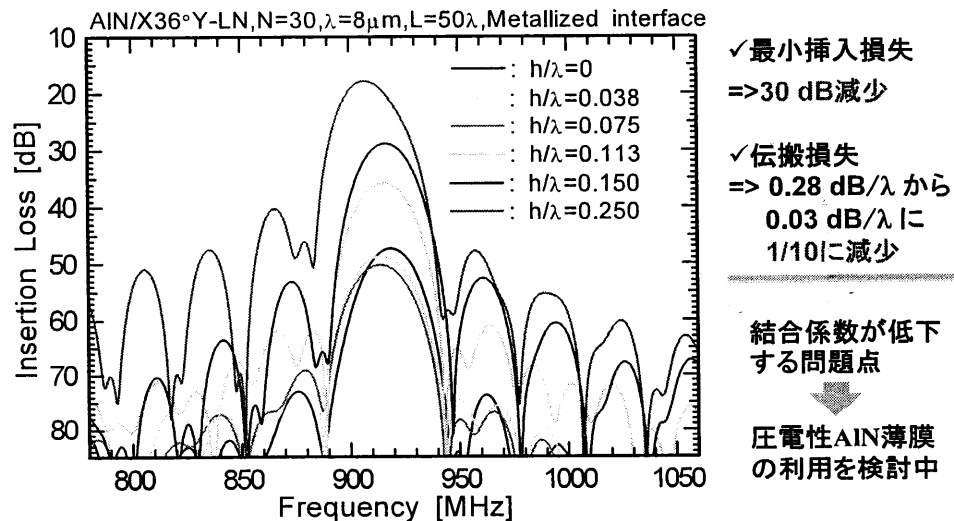
短絡表面の伝搬減衰理論値 => 4 dB/波長

LNやLT上のLLSAWの低損失化の手法として、基板方位、電極膜厚の最適化が試みられてきた => 有効な手だてなし

LLSAW低損失化のための提案構造



送受IDT間の周波数特性



前半のまとめ

- コイルLとコンデンサCの性質を組み合わせると、特定の周波数で電流が流れたり、流れにくくする作用が現れる
- 水晶などの圧電体は、固有の速度をもつ弾性波のマイクロな振動によって、LC回路のようにふるまう
↓
小型、高周波、高精度、温度安定なフィルタができる
- 山梨大学では高周波・高結合・低損失・高安定なSAW基板構造の開発を行っている

出典: 総務省HP: <http://www.tele.soumu.go.jp/j/adm/freq/search/myuse/summary/index.htm>

出典: 富士通HP: <http://jp.fujitsu.com/group/labs/downloads/techinfo/techguide/saw.pdf>

出典: 村田製作所HP: <http://www.murata.co.jp/mwall/index.html>

「学大将プロジェクト」

文部科学省委託事業「理数学生応援プロジェクト」

統合能力型高度技術者養成プロジェクト — 自発リーダー(学大将)を生む環境作り —

平成21年度から開始した工学部の教育プロジェクト
文科省からの委託事業は平成24年度で終了
平成25年度から大学の取り組みとして継続

「学びの場で、ガキ大将のように光り輝く存在」
が生まれて欲しいという願いを込めた造語

事業目的・背景

将来有為な科学技術関係人材を育成するため、理数分野に関して強い学習意欲を持つ者を見出し、その意欲・能力をさらに伸ばす。

見出す(高大接続)。伸ばす(学部教育の充実)。送り出す(大学院進学)。

修士・博士課程進学・修了を見据えた、卓越した能力を有する人材の育成
(文科省HPより)

- これまでの本学部における教育の取組
 - JABEE教育プログラムに象徴されるように、卒業生全員についての学士力の保証

今後継続する。さらに・・・

- 意欲のある学生がさらに伸びる取組が必要！
- 意欲さえあれば誰でも伸びる環境作りが必要！

採択大学 (全22大学)

採択年度	大学名
平成19年	千葉大学, 東京工業大学, 東京理科大学, 京都大学, 大阪大学
平成20年	北海道大学, 東北大学, 東京農工大学, 愛媛大学, 鹿児島大学
平成21年 (応募27大学)	山梨大学, 筑波大学, 群馬大学, お茶の水女子大学, 信州大学, 静岡大学, 豊橋技術科学大学, 名古屋工業大学, 広島大学, 熊本大学
平成22年	東海大学, 島根大学

委託期間	4年間
委託費	上限 1,600万円(年額)

プロジェクト全体像

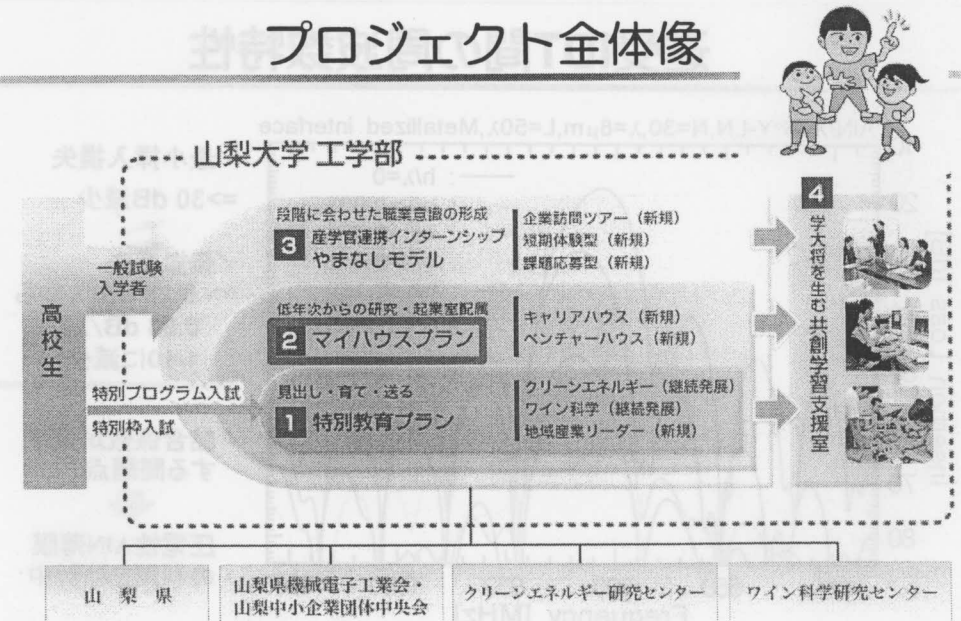


図1. プロジェクトの全体像

マイハウスプラン

- 入学後に本人の希望に基づき選抜された学生を対象として、1年次から研究室（キャリアハウス）・起業室（ベンチャーハウス）で育てます

キャリアハウスプロジェクト

- 高度な研究活動を体験します
- 13ハウスが活動中です
- 研究を教育に結び付けることで特徴付け・魅力付けを行うことによって意欲・能力を伸ばす取組です

ベンチャーハウスプロジェクト

- 起業活動を体験します
- 2ハウスが活動中です
- 教員、大学院生、学内外の仲間とともに起業を経験し、企画力、交渉力、段取り力、実行力を磨き、リーダーとして活躍できる統合能力を養成します

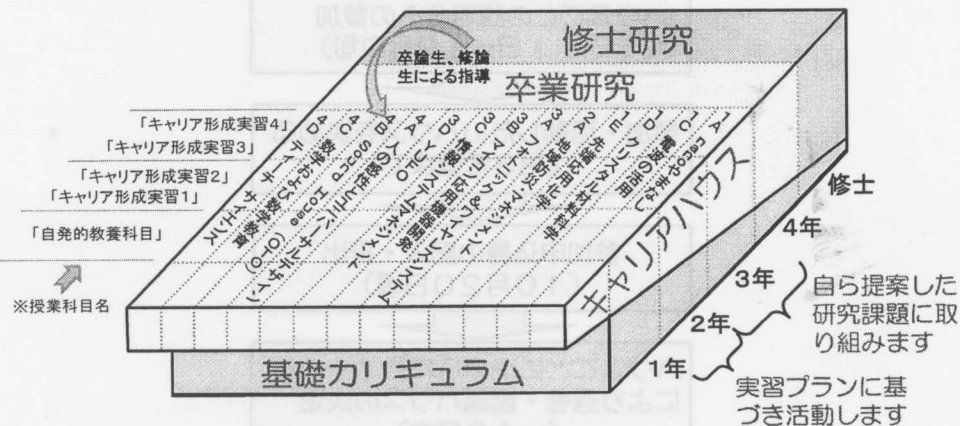
5

マイハウスプランの概要

- 4年生の卒業研究を通じて能力・学力が飛躍的に伸びますが、1年生で一つの研究室を選ぶことは難しい
⇒ 学科横断的に複数の教員からなる「マイハウス」をたちあげました
- 担当教員、学生の所属によらず、希望学生を受け入れます（定員30名）
- 1年次後期～2年次前期は、マイハウスごとの活動プランに基づく活動（実習やゼミ）を、担当教員の研究室や起業室で正課時間外に行います
- 2年次後期～3年次終了時は、自らが提案した「研究活動」や「起業活動」に取り組みます

6

キャリアハウス全体図



※以下の科目は卒業要件に含まれます
「自発的教養科目」「キャリア形成実習3、4(平成28年度入学生から)」

7

キャリアハウス一覧(1)

分野	ハウス名	キーワード・活動の様子
知の創造と活用	nanoやまなし	各種半導体材料、マイクロ・ナノ構造形成とナノ物性計測、フォトニックデバイス・エコデバイス作製と評価技術、レーザー光を用いた様々な基礎技術、実験を支える基礎理論 
	電波の活用	アマチュア無線免許、無線通信機器、フィールドワーク、災害救援、GPS、宇宙通信、ミニ衛星、テレメトリ、パケット通信、VOIP通信、超狭帯域デジタル通信 
	クリスタル材料科学	機能性無機材料、シリコン半導体、超伝導体、強誘電体、蛍光体、磁性体、レーザー材料、単結晶、アモルファス、多孔体、単結晶育成法、薄膜合成法、結晶構造、結晶材料評価法、物性測定法 
	先端応用化学	有機工業化学、有機化学、電気化学、無機分析化学、有機分析化学、無機工業化学、無機化学、高分子化学、物理化学 
安全・安心	地域防災・マネジメント	地震災害、水害、土砂災害、火山災害、ハード防災、センシング(計測・観測)、災害予測技術、ソフト防災、ICT(情報通信技術)防災、リスクコミュニケーション、図上訓練、防災教育 





8

キャリアハウス一覧 (2)

分野	ハウス名	キーワード・活動の様子
国際競争力	フォトニック & ワイヤレス システム	高周波デバイス、光制御デバイス、マイクロ波フィルタ、光計測、プログラム作成・評価、アナログ集積回路設計・評価、光ファイバネットワーク、無線センシングシステムの構築・評価、デジタル信号処理 
	マイコン応用 機器開発	ロボット、ゲーム機、ロボットコンテスト、メカトロニクス、電子工作、機械加工、プログラミング、リアルタイムOS、組み込みプログラム、マイクロプロセッサ、システム開発、アセンブラ、C言語 
	情報システム マネジメント	情報システムの管理、情報処理技術者試験、基本情報技術者試験、応用情報技術者試験、ネットワークスペシャリスト試験 
	YUFO : Yamanashi University Flying Objects	自律飛行制御、近宇宙、高高度気球、宇宙エレベータ、電動ヘリコプタ、小型パラグライダー、リモートセンシング、GPS、センサ、通信、制御プログラミング、スマートフォン 

9

キャリアハウス一覧 (3)

分野	ハウス名	キーワード・活動の様子
感性と知性	人の感性とユニバーサルデザイン	人間、ユニバーサルデザイン、感性、触覚、聴覚、味覚、食感、脳波、心電図、呼吸測定、光ファイバセンサ、マイクロデバイス、音響信号処理、画像処理、レーザー工学、プラズマ工学、電子回路 
	Sound house (OTO)	音響工学、聴覚心理学、騒音・振動、音声認識、音声言語処理、音響信号処理、DSPプログラミング、超音波モータ、超音波アクチュエータ、弾性表面波デバイス 
	数学および数学教育	数学、数学教育、代数学、群環体、ホモロジー代数、整数論、幾何学、教育実践、高校数学教員、数学的センス 
	ティーチサイエンス	科学実験、実験工作、サイエンスショー、理科教育、物理、化学 

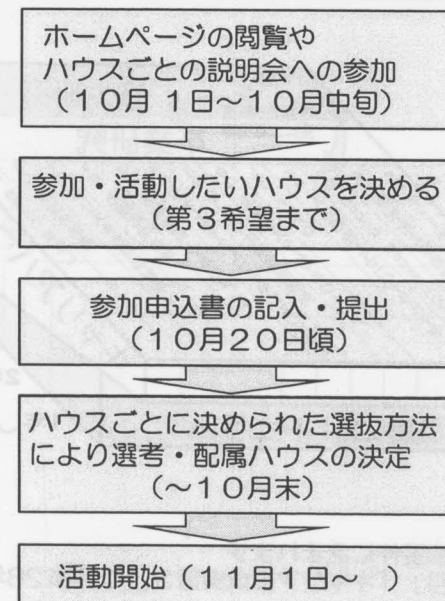
10

ベンチャーハウス一覧

ハウス名	目的・活動の様子
空き店舗リノベーション オフィス “PR甲府” 	甲府の中心市街地にある空き店舗を魅力的にリノベーションして地域全体の魅力を高めます ① 甲府の中心商業地にふさわしい店舗のデザインとは？ ② 甲府においてデザインを実現するシステムとは？ ③ 甲府の中心商業地で成功する商店とは？ これらについてビジネスモデルを構築します  松本市視察 「花水木」改装事業
放送局を作ろう “梨らぐ” 	大学内外のサークル・部活・研究活動等の学生の活躍を取材し、学生の皆さんに公開します 地域に根差した放送局を目指し、地元で行われるお祭りなどのイベントにも積極的に取材活動を行います 2015年2月に開局式を行い、ワンセグ・地デジ放送「テンパ☆梨甲局」を開局しました  「SSH発表会」取材風景 「大学祭」取材風景

11

申込・選抜・配属の流れ



12

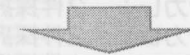
参加学生数

	参加学生人数	修了生人数
一期生	41	22
二期生	42	22
三期生	34	19
四期生	32	19
五期生	24	12
六期生	23	(3年生)
七期生	30	(2年生)

申込書に記述された参加希望理由

- 自分の興味、知識、経験を高めたい (14) ():延べ記述数
- 興味ある分野の研究活動に参加できる (8)
- (他の人と比べて)多くの知識、技能を習得でき有利 (7)
- 専門分野の知識、技能を身につけたい (6)
- 自主的、主体的、能動的に勉学に取り組みたい (4)
- コミュニケーション能力を身につけたい (3)
- 学業に対する意識を高めたい (3)
- 所属学科とは異なる分野にも見識を広げられる (2)
- 将来研究職に就きたい (2)
- その他(未来につながるような活動をしたい、大学生活を充実させたい、将来に向けて視野を広くしたい、新しい挑戦にしてみたい、他学科学生との交流ができる、先輩とのつながりができる、etc..)

直接的に得られる知識、技能に加え、付随する効果についても十分に理解している



マイハウスプランの募集を通じて

優れた資質と意欲のある学生を見出すことができた

活動の様子

「地域防災・マネジメント」所属 徳永 翔君 (2年次の活動)

▶ 災害現場調査及び研究

- 御嶽火山の噴火で降灰した火山灰の土質工学的特性に関する研究
- 御嶽山の噴火現場、伊豆大島の土砂災害現場



伊豆大島土砂災害調査



御嶽山調査



調査時装備

▶ 測定器具の検定の研究

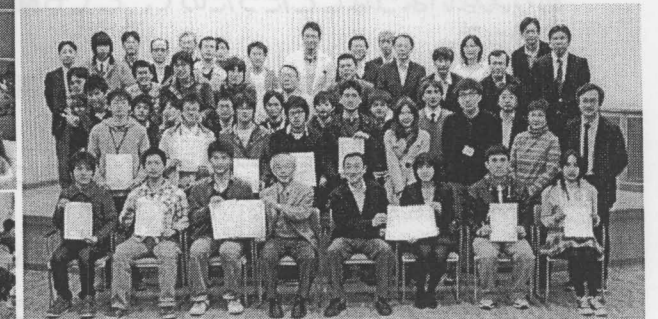
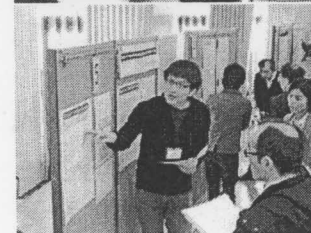
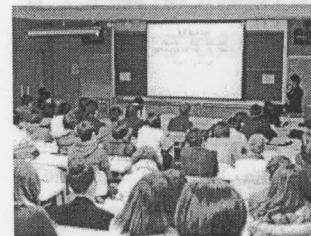
▶ 学会での発表 2015年10月9日地盤工学会関東支部発表会

▶ パソコンを使った情報処理についての学習

▶ 工事現場見学

修了生による「活動発表会」

- 活動を終えた参加学生(3年終了時)による「活動発表会」を開催しています
- 発表優秀者には工学部長より「スーパー学大将金賞」などを表彰します
- 修了生は「学大将」として認定されます



参加学生が学会などで活躍（１）

◆第4回サイエンス・インカレ（2015年3月 於：神戸国際会議場）に1件採択！



YUFO所属 佐々木 正寛さん・木下 紗弥さん・井上 忠彦さん（3年時）

- ◆第1回サイエンス・インカレ： 3件採択
- ◆第2回サイエンス・インカレ： 2件採択
- ◆第3回サイエンス・インカレ： 2件採択
- ◆第5回サイエンス・インカレ： 1件採択

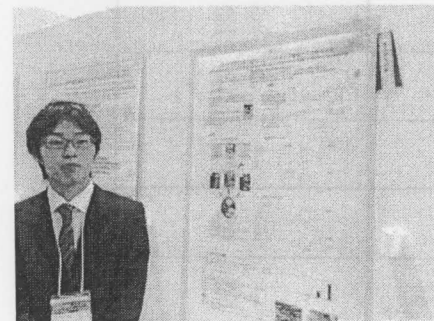
※サイエンス・インカレ：全国規模の大学生・高専生向け自主研究発表会（文科省主催）

17

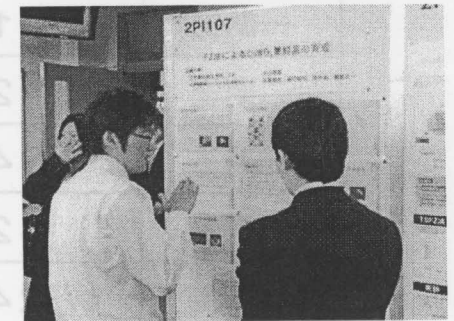
参加学生が学会などで活躍（２）

◆第76回応用物理学会秋季学術講演会（2015年9月 於：名古屋国際会議場）で発表

◆第24回日本セラミックス協会秋季シンポジウム（2011年9月 於：北海道大学）で発表



ティーチサイエンス所属
蜷川 隼人さん（3年時）
（ポスター賞の最終選考対象者に選出）



クリスタル材料科学所属
井口 雄喜さん（3年時）

◆参加学生（2年時、3年時）による学外発表がこれまで27件！

18

これまでの修了生から寄せられた感想

- 大変だったが楽しい活動だった。これから始まる卒業研究で活かせる力を身につけることができ、とても有意義な時間を過ごすことができた。
- 普通の学生生活を送っていたら、学会発表などは学部生ではほとんどありえないようなことだったので、とても貴重な経験ができて本当によかった。
- 授業で学んだことをアウトプットできる環境があったことがとても良かった。
- 学問だけでなく、コミュニケーション能力とか人間関係であるとか、さまざまなことが学べた。
- 発表することや人の考えを聞くことが楽しいと感じるようになった。
- 研究室の先生や先輩方とても仲良くなれたことがとても楽しかった。
- 最初はリーダーに興味はなかったが、活動を通じてリーダーシップをとることを学べた。

19

山梨工業会の皆様にお願ひ

マイハウスプランでは地域連携・地域貢献を模索しています

例えば

- 参加学生が地域企業様や自治体様を見学する見学会、ミニインターンシップ
- 地域企業様や自治体様に、関連「ハウス」にご参画いただく
- 研究活動・起業活動を通じて、地域企業様や地域の課題の解決を図る
- ものづくりのお手伝い

など

皆様のアイデアを是非お寄せください

マイハウス事務局教員 垣尾(かきお)までご連絡ください

メールアドレス：kakio@yamanashi.ac.jp

20