



電磁波と現代生活

北見工業大学

電気電子工学科

柏 達也

はじめに

電磁波に関する歴史

1864年 マクスウェルによる予言 (イギリス)

1888年 ドイツのヘルツにより実証 (ドイツ)

1895年 マルコーニによる無線通信 (イタリア)

放送、計測等への応用

1945年 スペンサーによる電子レンジ (アメリカ)

1960年～ エレクトロニクスの時代

1990年～ 情報化社会の時代

本講義では

電磁波とは何か？

電磁波の工学への応用

アンテナ工学

電磁波とはなにか？

電磁界方程式

電磁波はマクスウェルの電磁方程式で記述される

マクスウェルの方程式

$$\operatorname{rot}E = -\frac{\partial B}{\partial t} \quad (1) \quad (\text{ファラデーの電磁誘導の法則})$$

$$\operatorname{rot}H = J + \frac{\partial D}{\partial t} \quad (2) \quad (\partial D / \partial t = 0 \text{ の時、アンペールの回路則})$$

$$\operatorname{div}D = \rho \quad (3) \quad (\text{電界に関するガウスの定理})$$

$$\operatorname{div}B = 0 \quad (4) \quad (\text{磁界に関するガウスの定理})$$

$$D = \varepsilon E, \quad B = \mu H, \quad J = \sigma E \quad (5)$$

真空中においてマクスウェルの方程式

$$\operatorname{rot}E = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (6)$$

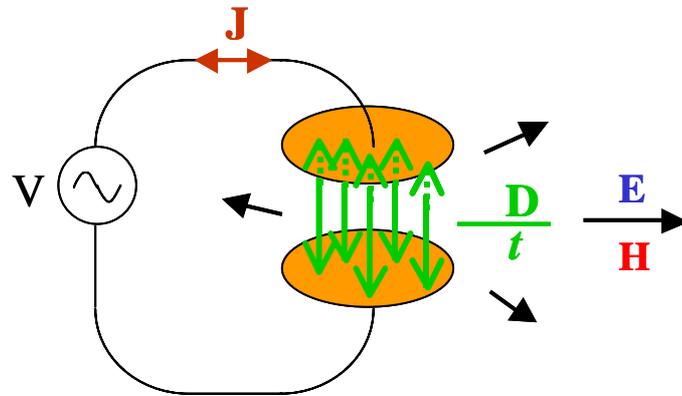
$$\operatorname{rot}H = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \quad (7)$$

波動の性質を持った式

電磁波 (6), (7)式で記述されて運ばれる波のこと

物理的説明

電極を高周波電圧源 V で励振



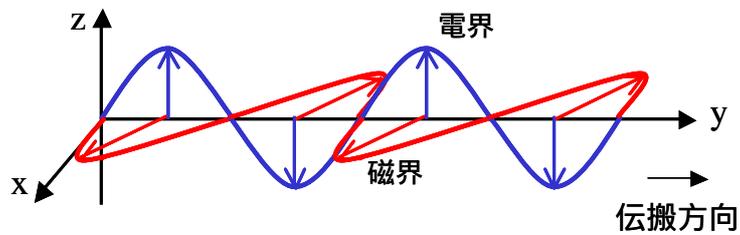
変位電流の発生

遠方では電界と磁界がそれぞれ直交

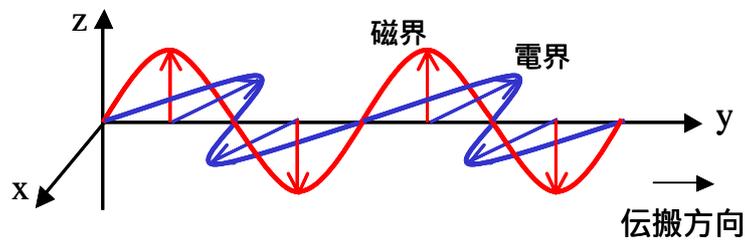
$3 \times 10^8 \text{m/s}$ の速さで伝播

マクスウェルは光は電磁波であることも予言

垂直偏波



水平偏波



電磁波の伝播

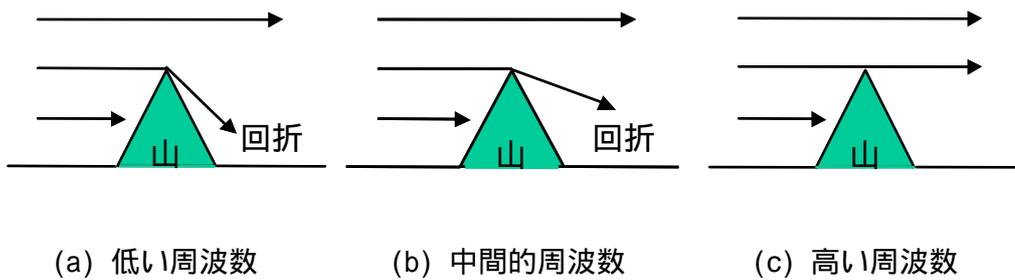
電磁波の周波数による性質の違い

波は周波数によりその性質が異なる

周波数 一秒間に何回振動するかを表す量 / 単位は Hz

周波数とその性質

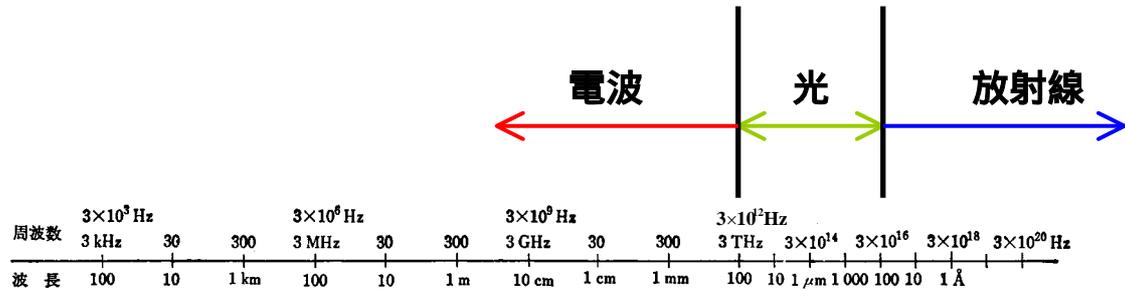
低い周波数	波動の性質
中間的周波数	波動の性質、光線の性質
高い周波数	光線の性質



電磁波周波数の分類

電磁波はその周波数により伝播特性が大きく異なる

正確には電波とは電磁波のうち周波数が 3000GHz (3THz) 以下のもの



呼称	ミリメートル波	キロメートル波	ヘクトメートル波	デカメートル波	メートル波	デシメートル波	センチメートル波	ミリメートル波	デシミリメートル波	赤外線	可視光	紫外線		
記号	VLF	LF	MF	HF	VHF	UHF	SHF	EHF		遠赤外線	近赤外線	紫外線		
バンド数	4	5	6	7	8	9	10	11		光				
慣用区分	波長区分	長波	中波	中短波	短波	超短波	極超短波	(ミリ波) (サブミリ波)					X線 (レントゲン線)	γ線
	マイクロ波周波数バンド名	100 kHz	1.5		6 MHz		P	L	S	X	K	Q		
						225	390	1550	5.2	11	33	55		
						MHz		GHz						

電波

- VLF: Very Low Frequency
- LF: Low Frequency
- MF: Medium Frequency
- HF: High Frequency
- VHF: Very High Frequency
- UHF: Ultra High Frequency
- SHF: Super High Frequency
- EHF: Extremely High Frequency

電磁波の周波数による分類

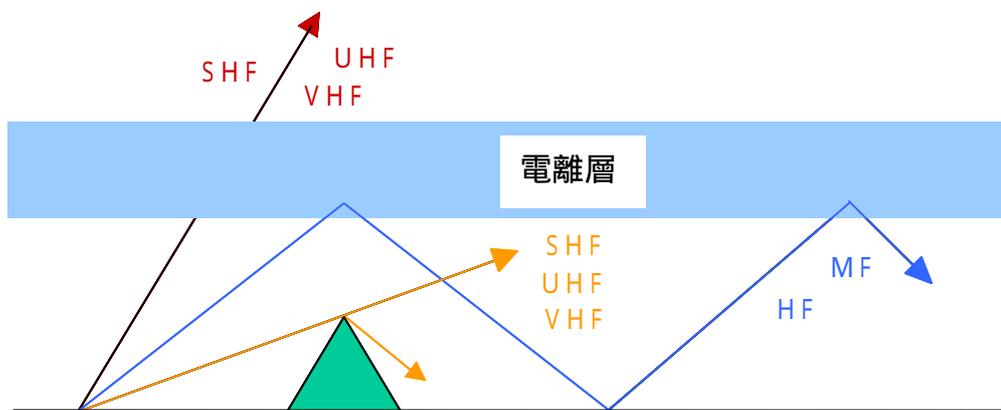
電磁波の周波数の分類

電波の伝搬特性

MF (中波)	AM放送	(電離層で反射、長距離伝播可能)
HF (短波)	短波放送	(電離層で反射、長距離伝播可能)
VHF (超短波)	FM放送、TV放送	(中距離、長距離での利用)
UHF (極超短波)	TV放送	(中距離、短距離での利用)
SHF (センチ波)	衛星放送	(光の性質に近づく)

電離層: 上空 100km 付近に存在する電離気体の層

低い周波数の電波を反射する



地球上における電波伝播特性の周波数による違い

光

電磁波の一種

周波数が 3THz から 30000THz 位の電磁波

光の周波数帯の電磁波は人間の目に色として認識

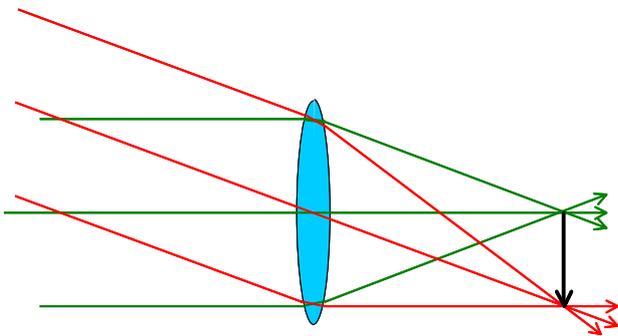
電波と周波数が異なるためその物理的性質が異なる

光 幾何光学

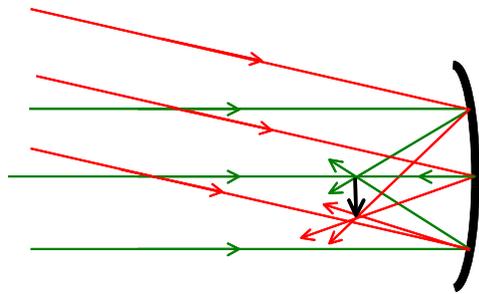
波長に比べて物体の大きさが非常に大きい場合

光線近似

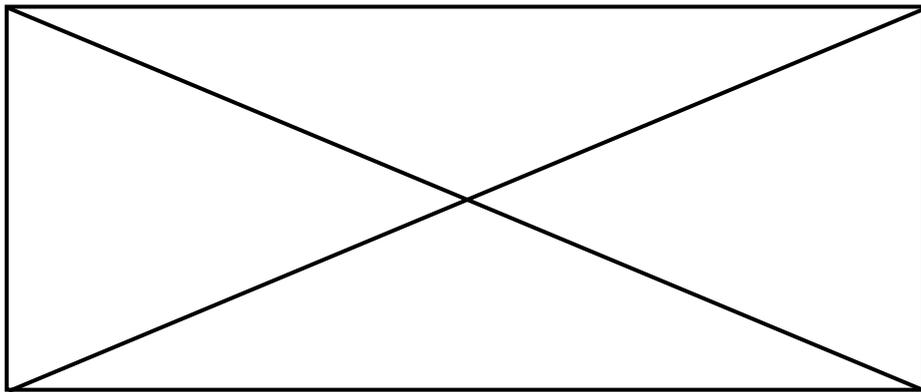
屈折、反射現象



レンズの結像原理



反射鏡の結像原理

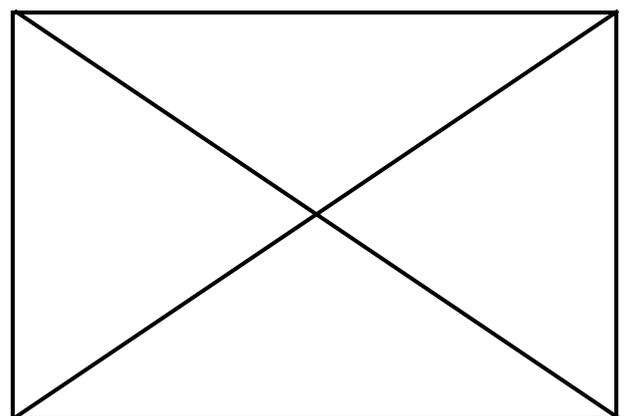
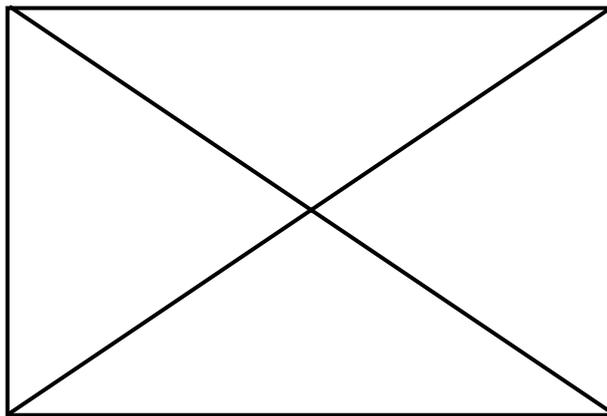
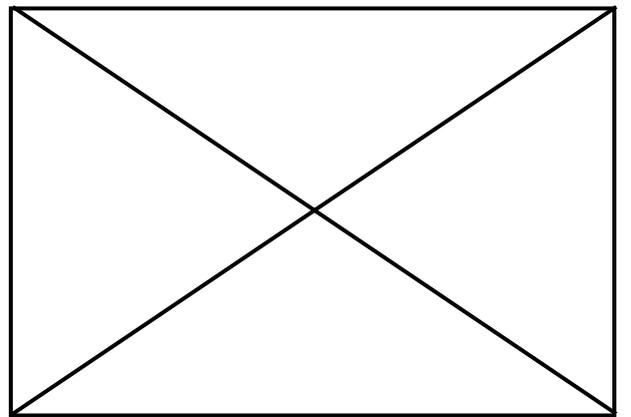
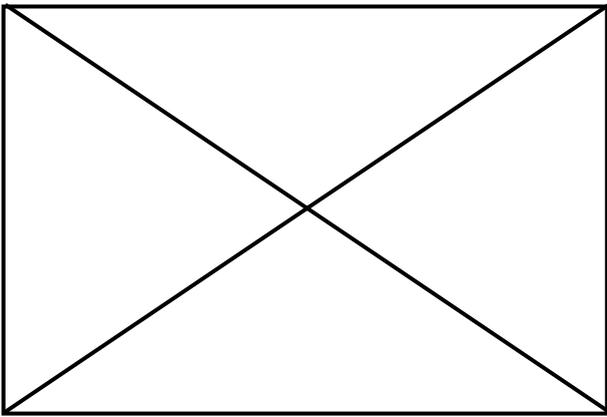


カメラレンズ

幾何光学

虹

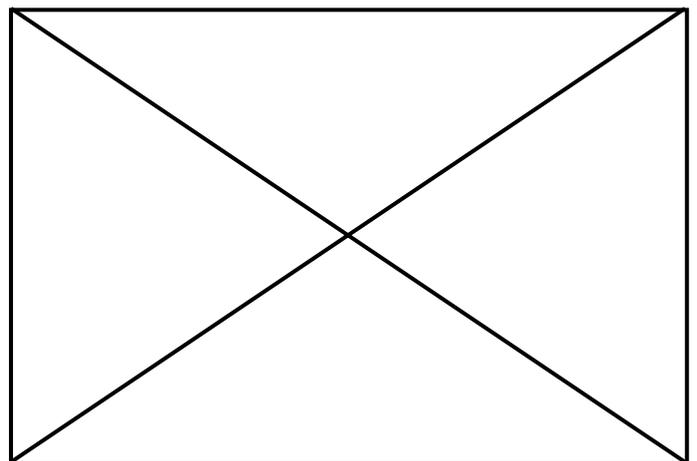
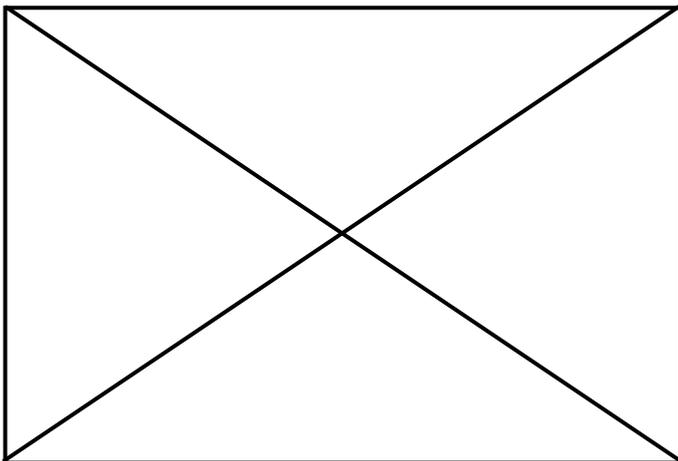
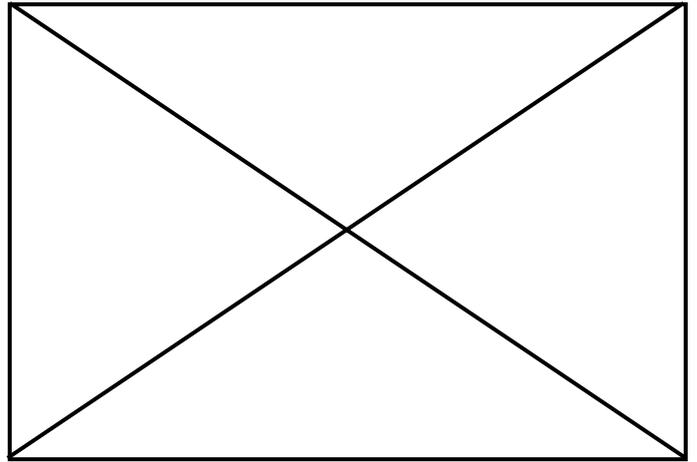
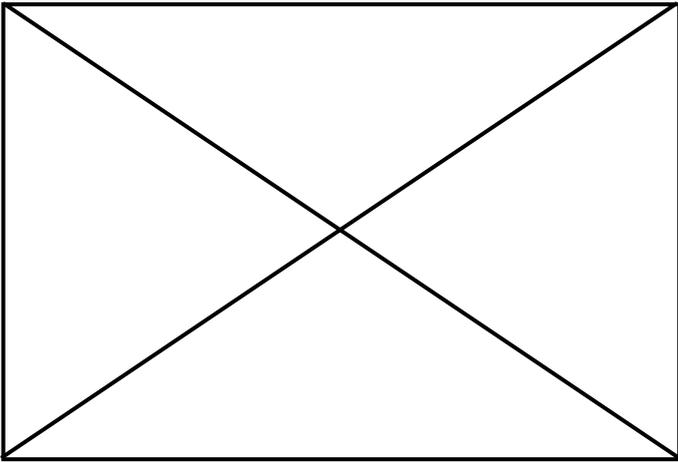
光の波長に比べ非常に大きな雨粒が存在
光の性質が強くなり反射現象や屈折現象
(デカルト 1637 年)



幾何光学

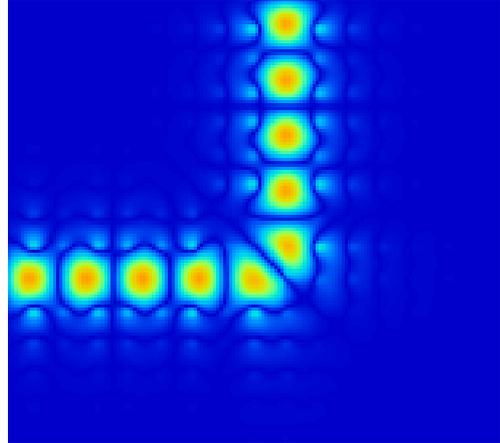
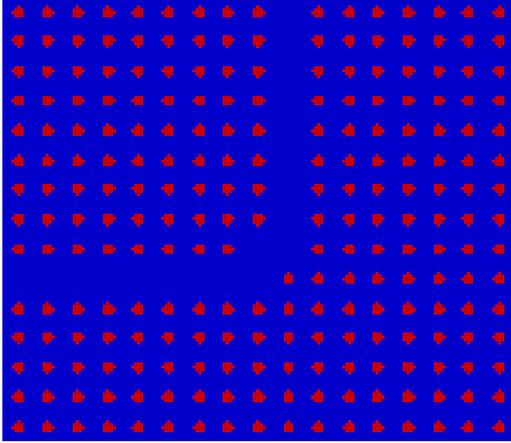
幻日

光の波長に比べ非常に大きな氷晶が存在

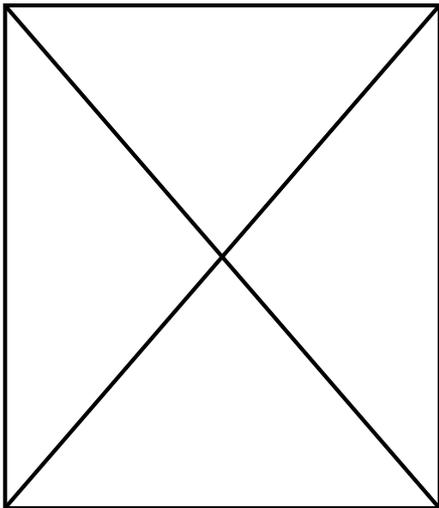


光 波動光学

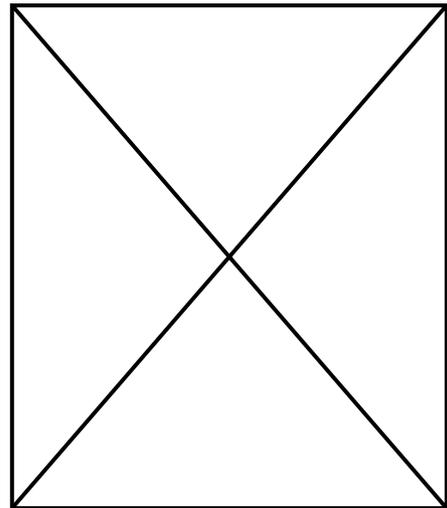
物体の大きさが波長と同程度以下の場合



フォトニックバンドギャップ型光導波路



光ファイバ型光導波路



リッジ型光導波路

波動光学

空の色

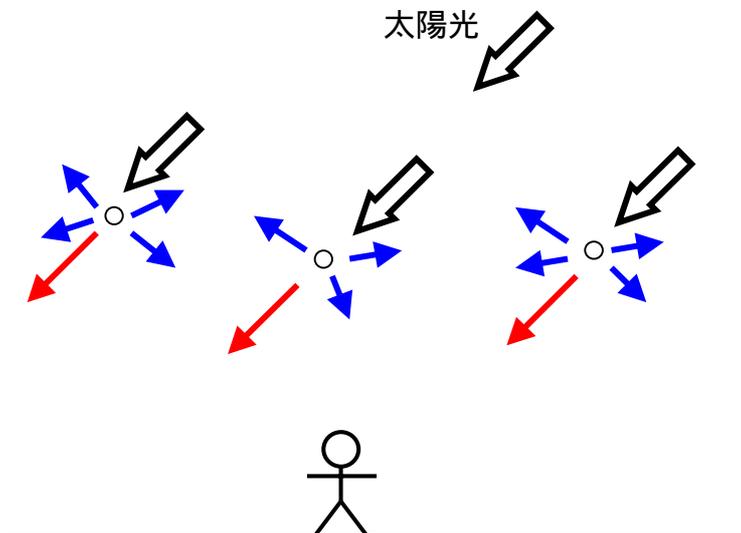
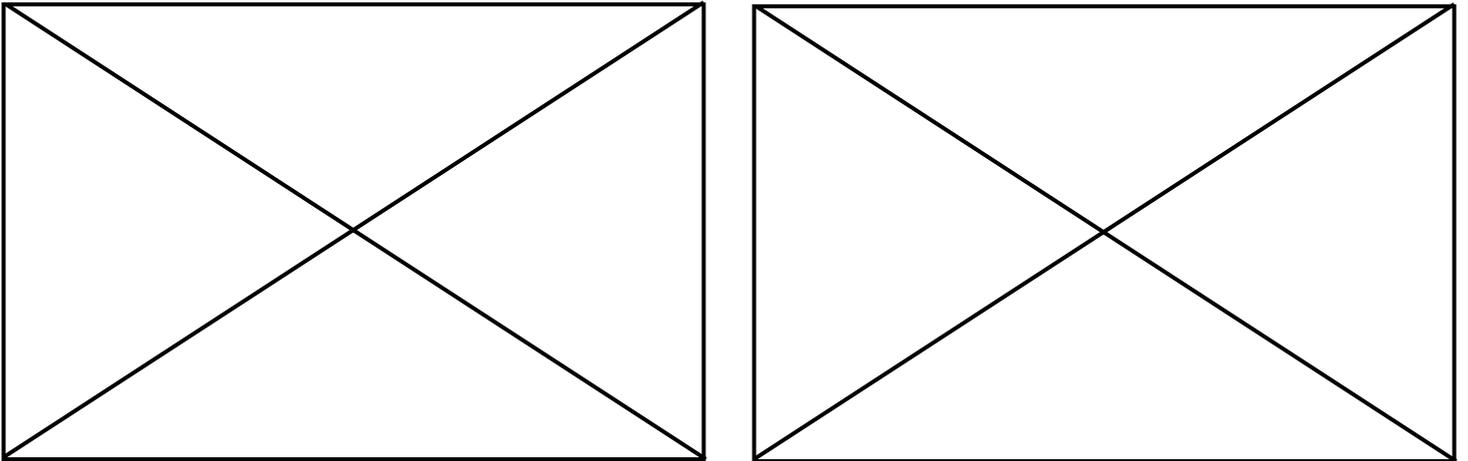
大気中の小さなちりの存在

太陽光の波としての性質

周波数の高い光（青）は強く散乱、周波数の低い光（赤）は弱く散乱

太陽光の内、青色の光が強く散乱

空が青く見える 1897年頃イギリスのレイリーによって説明



空が青く見える理由

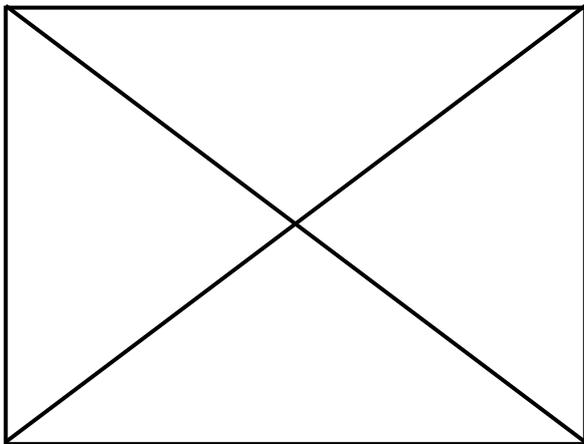
電波の利用

通信、放送

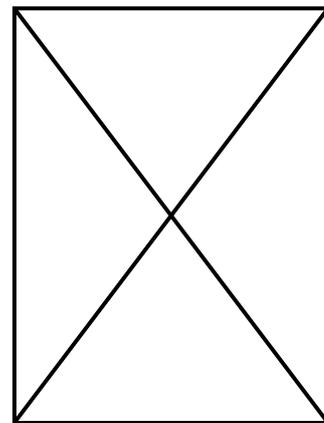
テレビ、ラジオ、携帯電話、PHS

送信周波数（搬送波）に情報信号を載せて送信

テレビ	VHF (90MHz - 222MHz)	UHF (470MHz - 770MHz)
ラジオ	AM (525KHz - 1600KHz)	FM (76MHz - 90MHz)
携帯電話	800MHz 帯 , 1.5GHz 帯	
PHS	1.9GHz	



テレビ



携帯電話

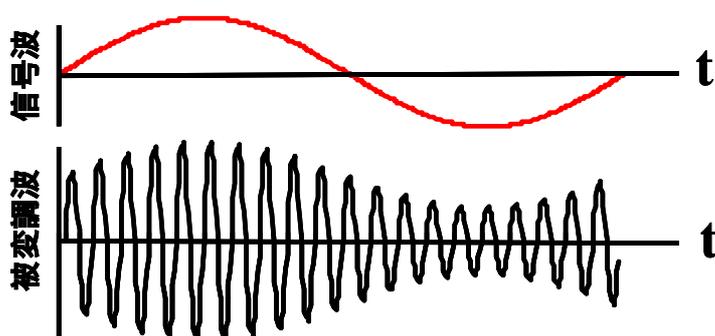
電波の利用

情報伝送の方法

周波数が高いほど情報伝送量が多い

AM (**A**mplitude **M**odulation、振幅変調)

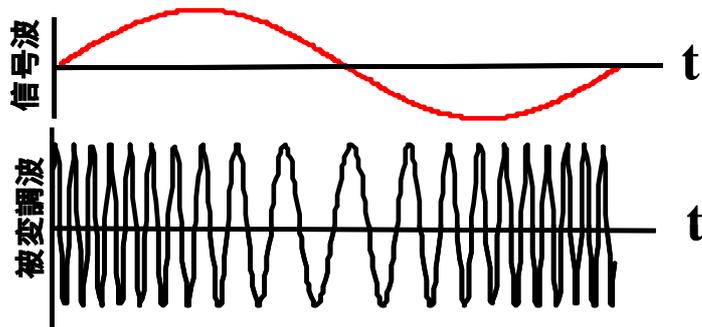
搬送波の振幅を変化させて情報を伝送する方式



AM 波形

FM (**F**requency **M**odulation、周波数変調)

搬送波の周波数を変化させて情報を伝送する方式



FM 波形

電波の利用

アンテナ

電波を送信、受信及び計測するときに必要な

半波長ダイポールアンテナ

電波の波としての性質を利用

共振現象を利用

アンテナの長さが電波の半分の波長になる状態で使用

携帯無線機のモノポールアンテナはダイポールアンテナの上半分

パラボラアンテナ

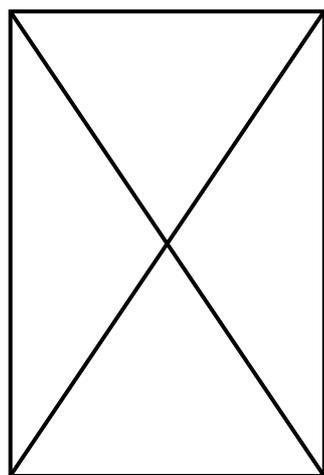
電波の光としての性質を利用

電波はパラボラ面で反射され正面の小さなアンテナで受信

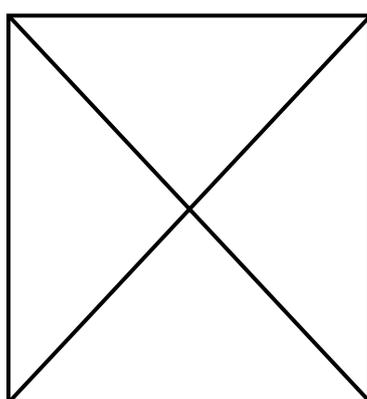
八木・宇田アンテナ

アンテナを複数並べて指向性を鋭くする

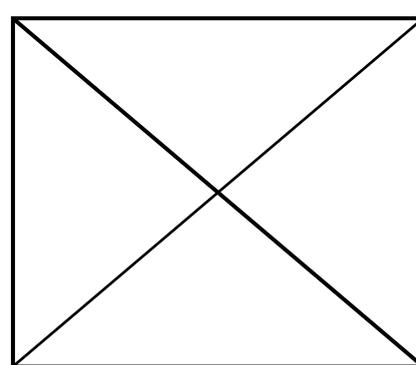
1926年頃、東北大学の八木秀次、宇田新太郎両氏によって考案



半波長ダイポールアンテナ



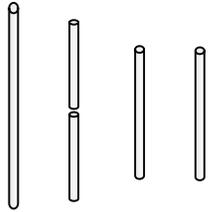
パラボラアンテナ



八木・宇田アンテナ

アンテナの種類と使用周波数の関係

波動工学 (波の性質)



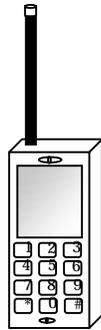
八木・宇田アンテナ



半波長ダイポール
アンテナ
(共振)



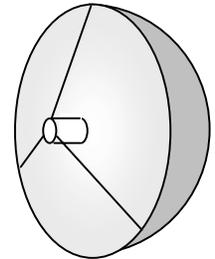
マイクロストリップアンテナ



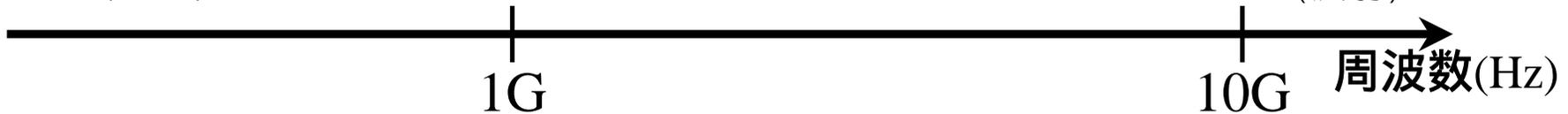
モノポールアンテナ



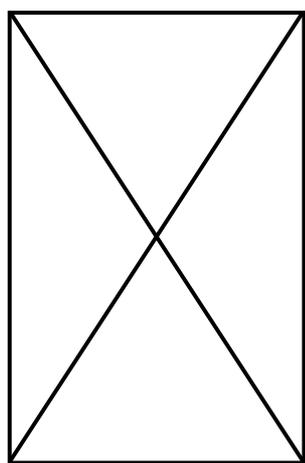
ホーンアンテナ



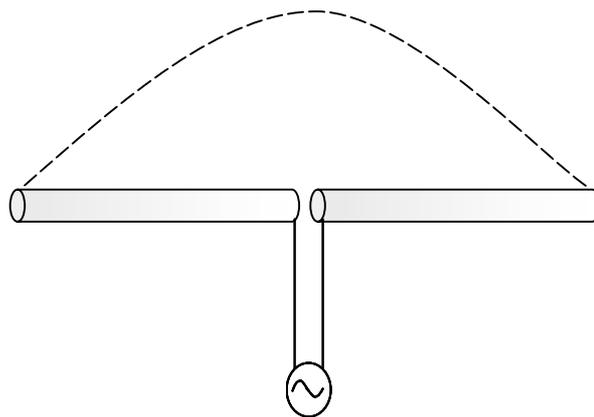
パラボラアンテナ
(反射)



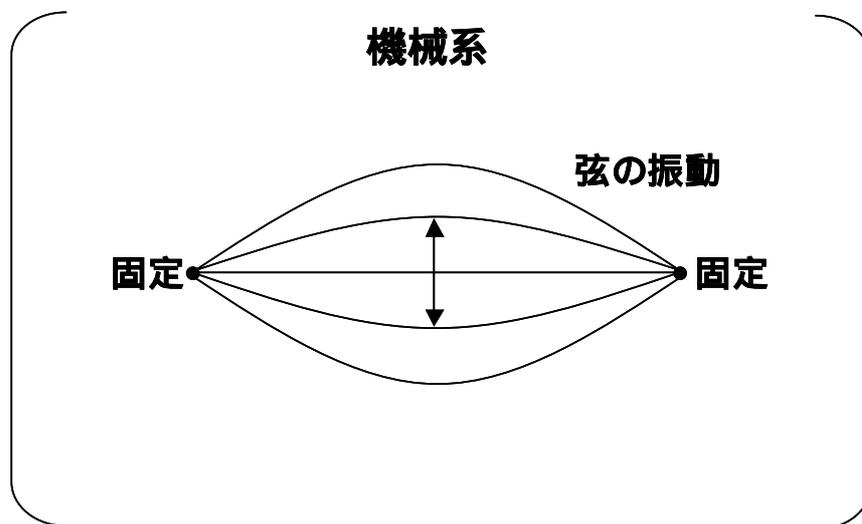
半波長ダイポールアンテナの原理



電流分布
(共振)



機械系



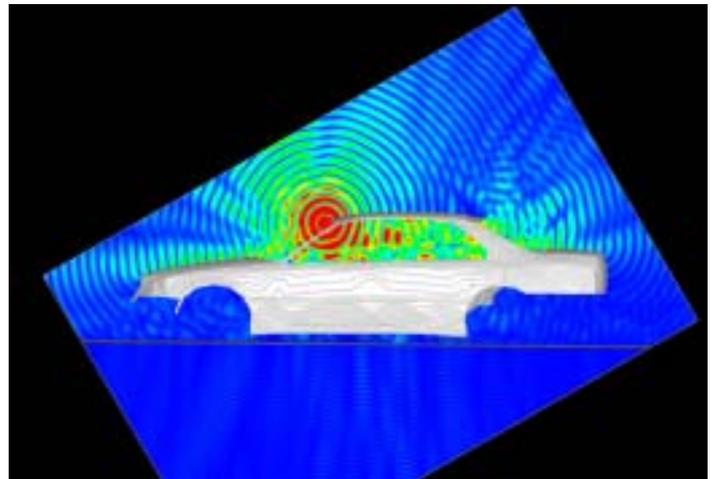
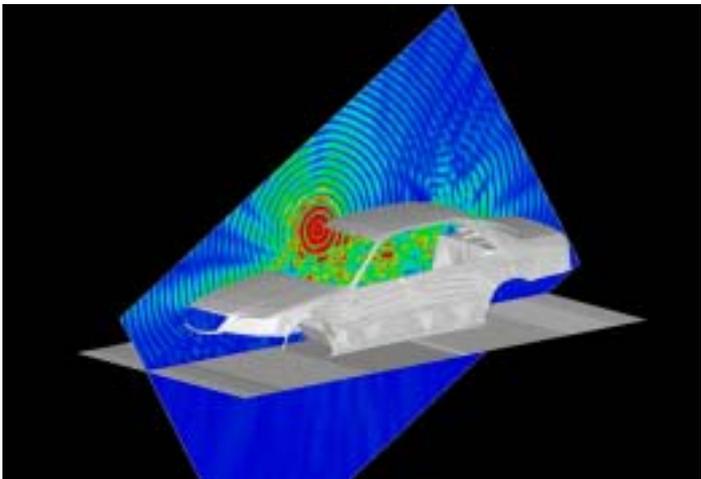
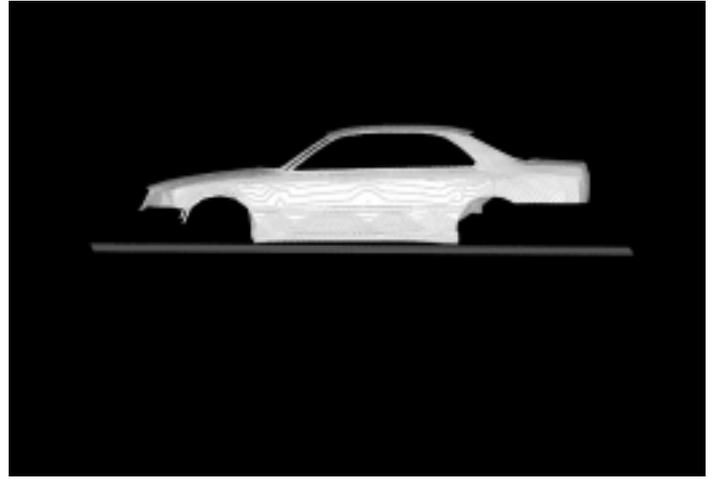
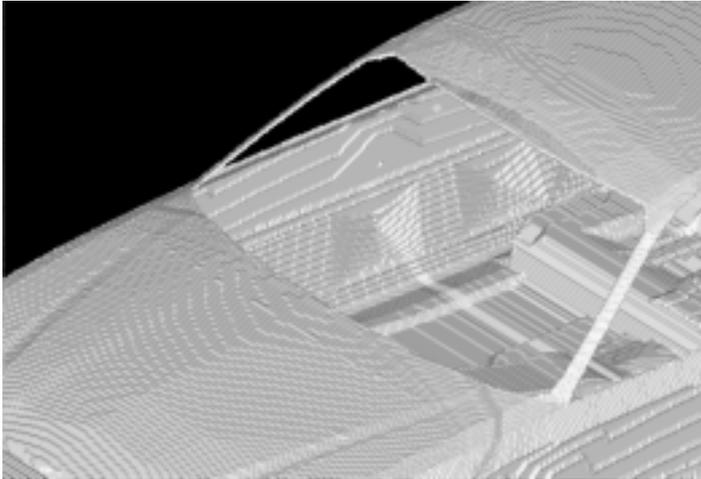
弦の振動

固定

固定

電波の利用

移動通信



自動車搭載アンテナ特性

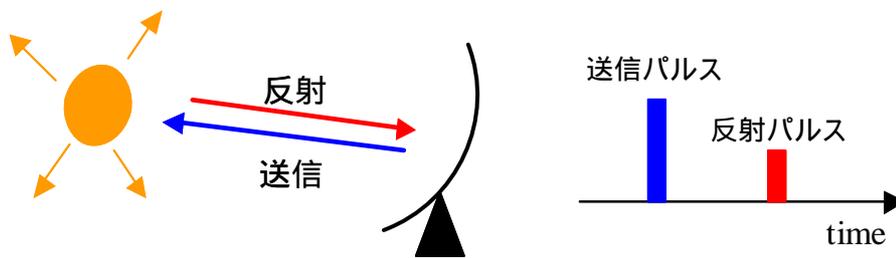
電波の利用 計測

レーダ：物体との距離や速度を計測

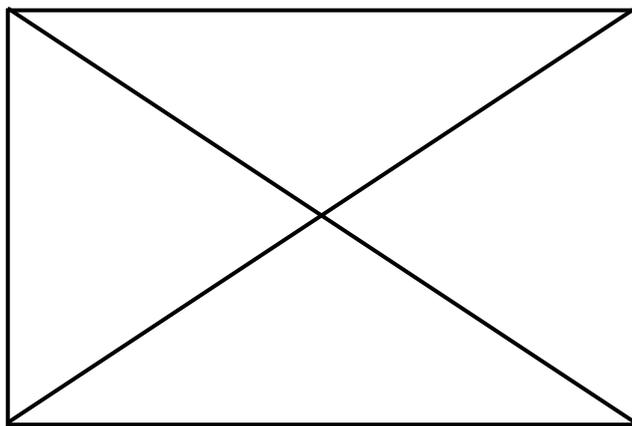
リモートセンシング：人工衛星から地球に電波を照射し地球環境を計測

電波天文学：宇宙から到来する電波を受信して宇宙を研究

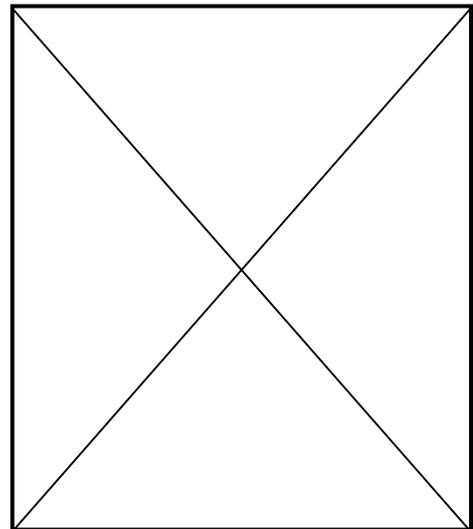
不要電波観測：自動車、飛行機、P C、電子レンジからの不要電波の観測



レーダの原理



電波天文用アレーアンテナ



自動車用電波暗室

電波の利用

電磁波加熱

電磁波が分子内に摩擦を引き起こし発熱

水分子で強く起きる

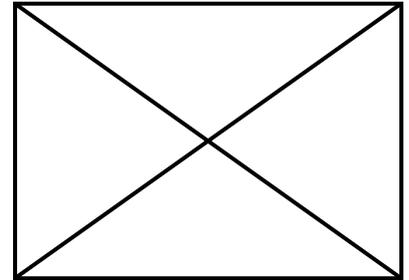
マイクロ波帯で顕著

電子レンジの使用周波数は 2.45 GHz

水分子を加熱して食品を温める

マイクロ波加熱は内部過熱

電子レンジ(Microwave Oven)



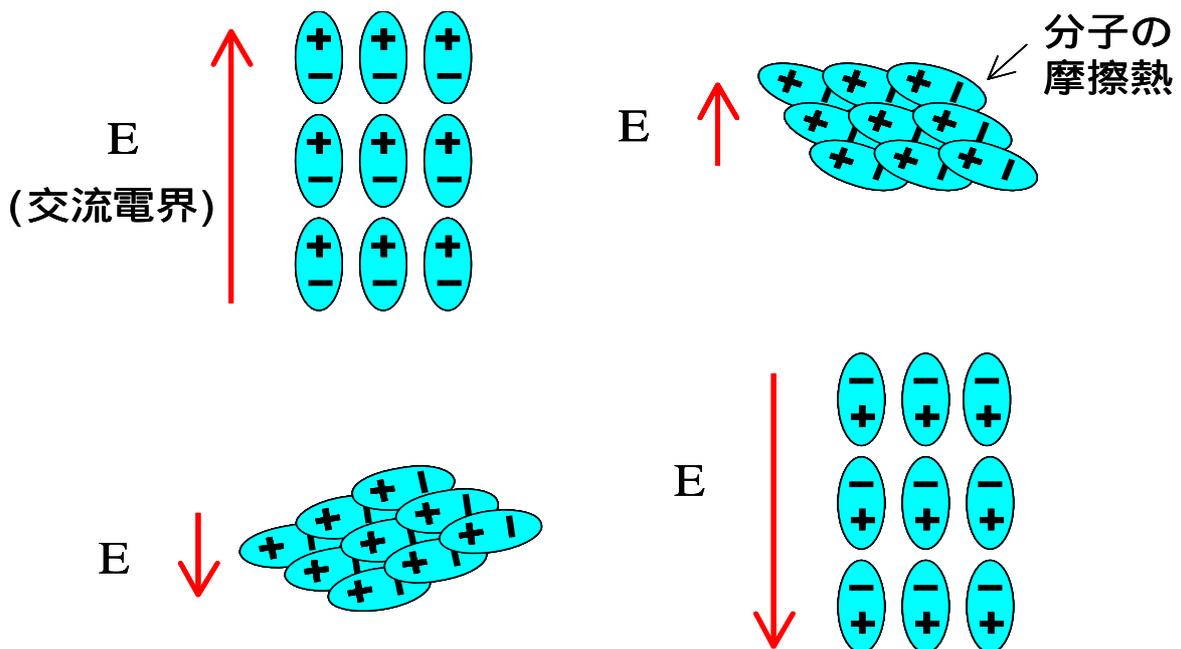
電子レンジ

電磁波加熱は工業用として様々な所に応用

癌細胞が41度以上で死ぬ事を利用した癌の温熱療法

木材 / 紙の乾燥及び加工

セラミックの加温

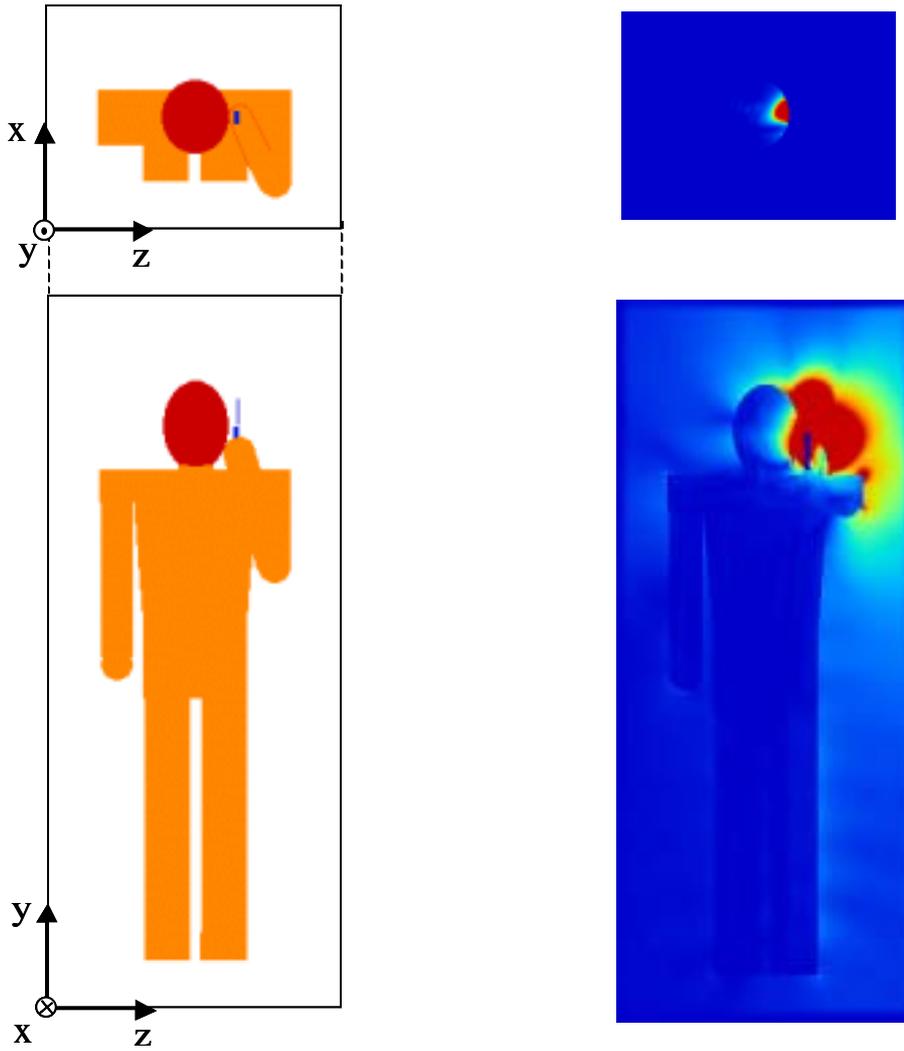


マイクロ波加熱

電波の公害

環境電磁工学

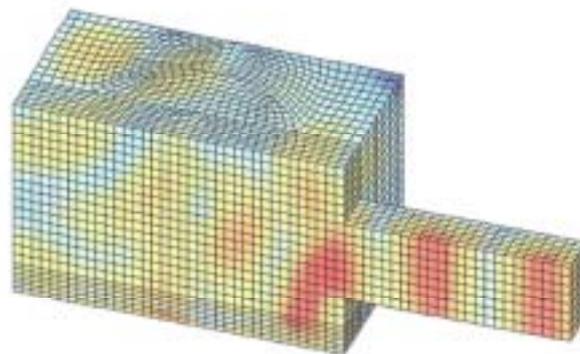
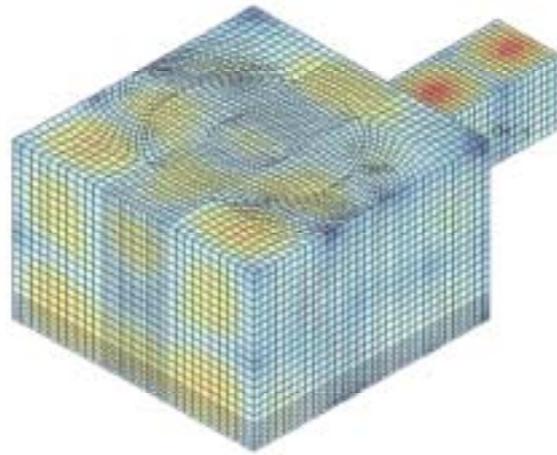
携帯電話と人体頭部の相互作用



電波の公害

環境電磁工学

電子レンジ内の電界分布



電波の公害

環境電磁工学

電磁波と安全性

人体への影響

通信周波数 (高周波)	電子情報通信学会等で調査
電力周波数 (低周波)	電気学会等で調査

不要電磁波による電子機器の誤動作

- 自動車、飛行機、携帯電話、パソコン、電子レンジ 等
- 不要な電波を出さない研究
- 不要な電波を機器に入れない研究

