

小型・安価な熱画像装置とセンサネット の技術動向と市場動向 090626

(有)田澤R&D技術士事務所 田澤勇夫



豚インフルエンザ対策(空港における体温チェック)



赤外線により熱源の温度を非接触で計測する原理

黒体: 入射エネルギーの全てを吸収する理想的な物体

吸収率 = 1

黒体放射: 黒体の放射で

放射率 (=) = 1

Plank式より黒体より放射される強度は(1cm², 1 μm当たり)

$$W_{\lambda} = 2\pi^5 c^2 / 15 \left[\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1) \right]$$

$$= c_1 / \lambda^5 (e^{c_2/\lambda T} - 1)$$

$$c_1 = 3.7418 \times 10^{-16} \text{ W / cm}^2 \eta \text{m}^4$$

$$c_2 = 1.4388 \times 10^{-2} \eta \text{m} \cdot \text{K}$$

全放射量は

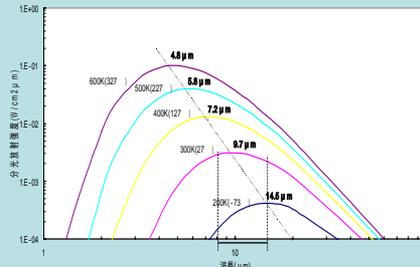
$$W = \int_0^{\infty} W_{\lambda} d\lambda = (2\pi^5 k^4 / 15c^2 h^3) T^4$$

$$= \sigma T^4$$

$$\sigma = 5.6705 \times 10^{-8} \text{ W / cm}^2 \text{K}^4$$

放射率 の物体からの放射量は

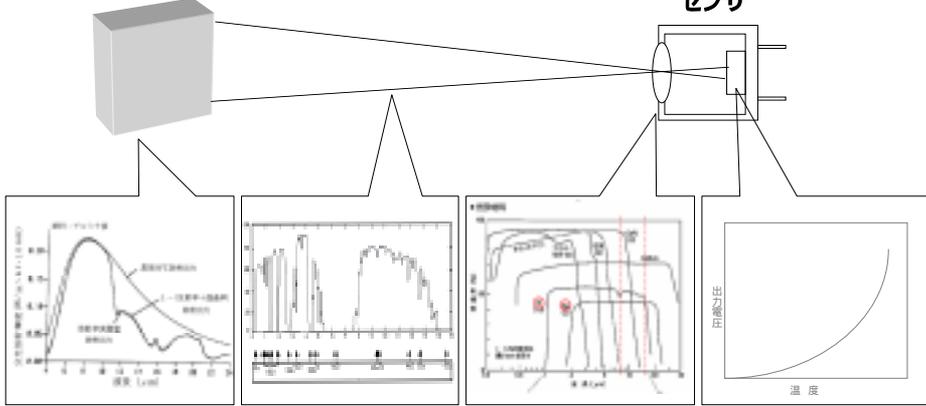
$$W' = \epsilon \sigma T^4$$



赤外線温度計測の基本構成

測定対象

センサ



放射率の波長依存性

大気の透過率
(大気の窓)

レンズの透過率

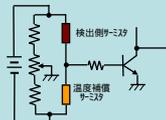
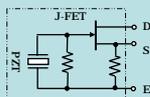
センサ素子の特性



赤外線センサの分類

大分類	原理	材質	波長	比検知能D*	熱時定数	
量子型	熱起電力効果	Si	0.5 ~ 1.2 μm	5*E10	1 ~ 100 μs	感度が高い 応答性が良い 波長依存性大
		InAs	1 ~ 3.7 μm	8*E9	1 μs	
		InSb	0.5 ~ 6.5 μm	1*E10	1 μs	
	光導電効果	HgCdTe	6 ~ 15 μm	2*E9	0.01 μs	
		PbS	0.6 ~ 3.0 μm	1*E11	50 ~ 500 μs	
		Ge	0.8 ~ 1.9 μm	1*E10	1 ~ 50 μs	
熱型	熱起電力効果	サーモパイル	1 ~ 40 μm	1*E7	10 ~ 1000ms	感度が低い 応答性が悪い 波長依存性小
	焦電効果	PZT LiTaO3	1 ~ 20 μm	2*E9	1 ~ 100ms	
	光導電効果	ボロメータ	1 ~ 40 μm	3*E9	1 ~ 20ms	

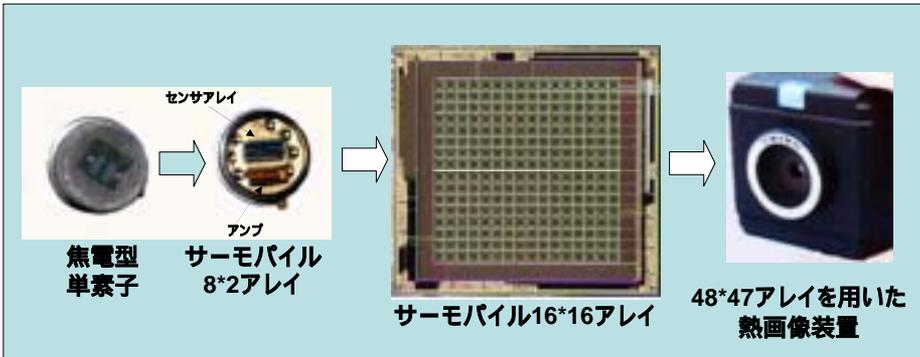
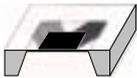
比検知能D* (Specific detectivity, D-star)(cm/HzW)
センサ面積1cm²に対して入力1Wがある場合の f=1Hzの時のSN



赤外線単素子センサの応用と市場規模



サーモパイル赤外線センサのアレイ化



市場規模が更に数十倍に拡大する可能性がある



熱画像装置の歴史

- ・ 1954年、米国において単一素子のサーミスタ・ボロメータを用いた装置が初めて開発
感度や応答性、フレームスピードに問題があった。
- ・ その後、量子型センサが開発され、感度、応答性が大幅に向上
-200 程度に冷却する必要があり、また、機械的スキャンのため幾つかの問題があった。
- ・ 1980年代後半、SiPt、InSbなどのFPA(Focal Plane Array)センサが登場
フレーム スピードが大幅に向上したが、やはり冷却が必要であった。
- ・ 1996年、マイクロボロメータを用いた非冷却FPAが登場
マイクロマシニング技術により、素子の熱容量と基板への熱伝導を低減した。
また、高度な真空封止技術の採用などにより性能が大幅に向上。
- ・ 2007年、サーモピルを用いた本格的なアレーセンサが登場した。

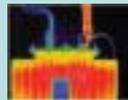


熱画像装置の応用

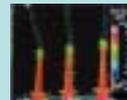
・プラント・電気設備 施設の管理



プラント



変電トランス



送電系統



大規模施設

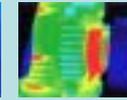
・加熱した電気部品 回路の調査



ヒューズ



ヒーター

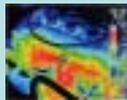


モーター



電子回路

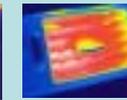
・自動車開発における 熱分布研究



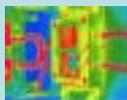
エンジン



マフラー



エアコン吹き出口



金型



床の湿気



断熱



保存庫



人体

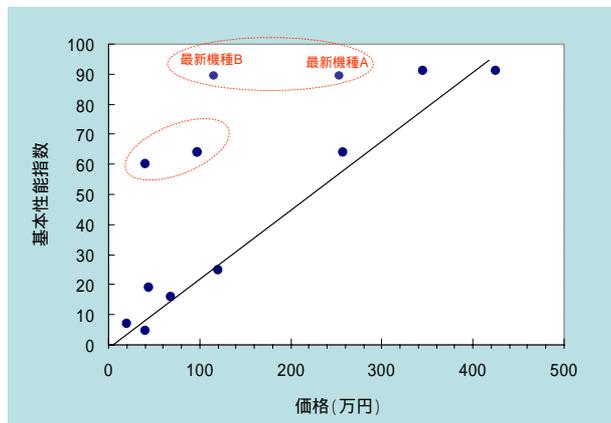


熱画像装置の仕様比較

機種名	TH9100	FSV-7000E	TH6100	Ti25	CPA-2300	TH6200R	Ti10	MoB IR M2	FLIRi5	i-11064	TP-L0260EN
メーカー名	NECAvio	Apiste	NECAvio	FLUKE	CHINO	NECAvio	FLUKE	IRS	FLIR SYSTEMS	HORIBA	CHINO
センサ方式	非冷却型 DA-9	非冷却型 DA-9	非冷却型 DA-9	非冷却型 DA-9	非冷却型 DA-9	9-TEA1471r1	9-TEA1471r1				
測定範囲	-40 ~ 120	-40 ~ 500	-40 ~ 120	-20 ~ 350	-20 ~ 250	-20 ~ 250	-20 ~ 250	-20 ~ 250	0 ~ 250	-50 ~ 1000	-20 ~ 300
温度精度	±2	±2	±2	±2	±2	±2.5	±5	±2	±2	±2	±3
画素数	320*240	320*240	320*240	160*120	160*120	160*120	160*120	120*120	80*80	8*8	48*47
フレームレイト	60Hz	60Hz	30Hz	9Hz	60Hz	60Hz	9Hz	60Hz	9Hz	0.2sec	3Hz
	0.08/0.03	0.05	0.1	0.2		0.2	0.2	0.12			0.5
検知波長	8 ~ 14 μm	8 ~ 14 μm	8 ~ 14 μm		7.5 ~ 13 μm	8 ~ 14 μm		8 ~ 14 μm	7.5 ~ 13 μm	8 ~ 16 μm	中心10 μm
価格	425万円	345万円	258万円	120万円	98万円	98万円	68万円	40万円	45万円	40万円	20万円



熱画像装置の価格と基本性能の比較



基本性能指数 = (フレームレイト) * (画素数) / (温度誤差)

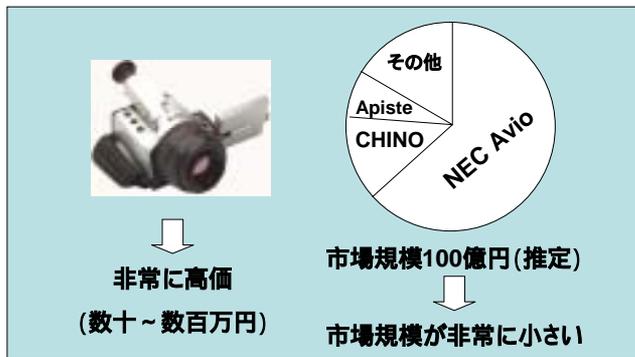


マイクロロメータ(320*240)型熱画像装置の 製品化の新たな動き

最新機種B	
機種名	AIR32
メーカー名	I.R.System
センサ方式	非冷却型ロメータ
測定範囲	-
温度精度	-
画素数	320*240
フレームタイム	60Hz
	0.038
検知波長	8~14 μm
価格	130万円




熱画像装置の市場

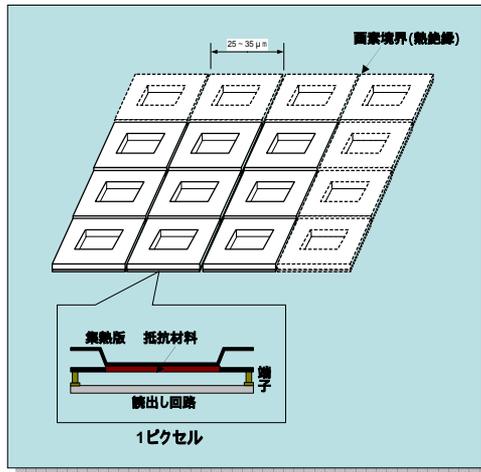


サーモパイルアレイによる安価・小型の熱画像装置の出現により、
潜在的市場が開拓され市場規模が拡大するに従い、
旧来の熱画像装置の大幅な低価格化が期待される

「イノベーションの発生過程は、「研究 開発 設計 製造 販売」のような直線的流れ出なく、
夫々が連続的に関連しフィードバックが起こりつつ発生する」:S.クライン「連続モデル」提唱者



マイクロ・ボロメータ・アレイ



温度校正を除くと、
サーモパイル・アレイ並みの
コスト低減は可能と思われる



熱画像装置市場が急拡大するための技術的課題

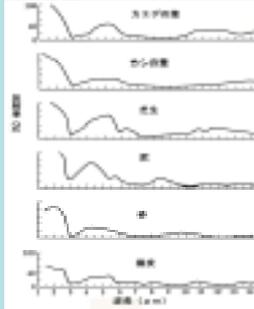
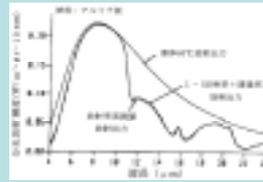
- 常温領域では高精度な温度計測が要求される
- 放射率の存在により、正確な温度を測ることが難しい
- ユーザ/フィールド/臨床外に立った開発の必要性
- トレーサビリティの確立の困難さ



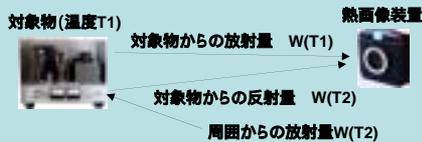
物質の放射率(正確な温度を測ることの難しさ)

各種物体の放射率表

測定対象物	放射率	測定対象物	放射率
アルミニウム酸化物	0.30 - 0.76	紙	0.70 - 0.94
クロム酸化物	0.81	繊維	0.90
銅酸化物	0.38 - 0.93	布・繊維(色付)	0.95
青銅凹凸面	0.55	布(黒色)	0.98
錆びた銅	0.69	なめし皮	0.75 - 0.80
鉄酸化物	0.60 - 0.90	皮・毛皮	0.96
ニッケル酸化物	0.85 - 0.96	ペイント面	0.80
チタン酸化物	0.35 - 0.60	塗料(ラッカー)	0.80 - 0.90
亜鉛酸化物	0.11 - 0.60	塗料(つや消し黒)	0.97
真鍮酸化物	0.56 - 0.64		
ステンレス鋼	0.45		
セメント	0.96	コンクリート(湿)	0.96 - 0.98
セラミック	0.85 - 0.95	コンクリート(乾)	0.91 - 0.95
ガラス	0.75 - 0.95	アスファルト	0.90 - 0.98
大理石	0.94	砂	0.90
ほたる石	0.30 - 0.40	土	0.92 - 0.96
石こう	0.80 - 0.90	氷	0.92 - 0.96
レンガ	0.75 - 0.95	氷	0.96 - 0.98
しっくい	0.89 - 0.91	雪	0.83
陶器	0.90 - 0.94		
石・石綿	0.92	野菜・果物	0.98
タイル	0.80	パン・菓子(生地)	0.98
ねんど	0.85 - 0.90	肉類	0.98
ゴム	0.86 - 0.95	人体の皮膚	0.98 - 0.99
ゴム(黒色)	0.95		
木	0.50 - 0.80		
材木	0.9 - 0.98		
木炭(粉)	0.96		
プラスチック	0.60 - 0.95		



対象物の放射率が1でないことにより生じる問題点



温度T1の対象物からの放射量は $W(T1)$
 温度T2の周囲から放射量 $W(T2)$ とすると、対象物の反射量は
 $W(T2)$ となるため、対象物から熱画像装置への放射量は
 $W(T1) + W(T2)$
 放射率 と反射率 の関係は、エネルギー保存則より
 $+ + = 1$
 $= 0$ が成立する場合、
 Kirchoffの法則より、 $=$ であるので、
 $= 1 -$
 となるので、

放射率が小さい場合、周囲環境の影響(外乱)の影響を受け易い



ユーザ・サイド立つ研究開発の必要性 - 耳式体温計の事例 -

1998年4月 国民生活センターから

“注意！ 高めに出る傾向にある耳式体温計”が報告「腋の下での測定値に対して高い値を示す場合が多く、最大で2 にも」

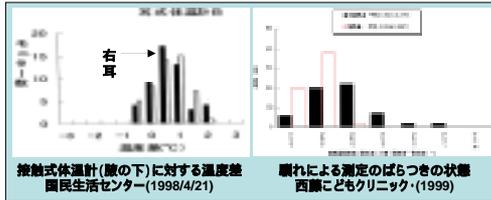


消費者へは特徴を良く理解するよう提言、メーカーには理解を深める対応を要望

- ・耳と腋の下では体温が違う
- ・左右の耳では体温が違う
- ・耳垢により誤差が大きくなる
- ・センサーカバーの装着を忘れない
- ・大人の場合、しっかりと奥まで挿入
- ・急激な周囲温度の変化により誤差が生じる



鼓膜の近くに脳からの動脈が流れて、
体内の核心温である視床下部に近い温度を反映

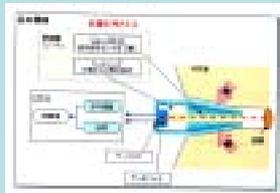


耳式体温計の改良事例

センサ計測方向が鼓膜に正確に向いていないため、外気温の影響を受ける



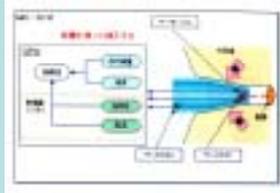
改良前



外耳道からセンサへの熱の影響を避けるため、センサを本体内部に設置し、周辺にヒートシンクを取付け、熱伝達を遅らせる

数秒の測定時間では有効でも、それ以上の時間挿入していると誤差が生じる

改良後



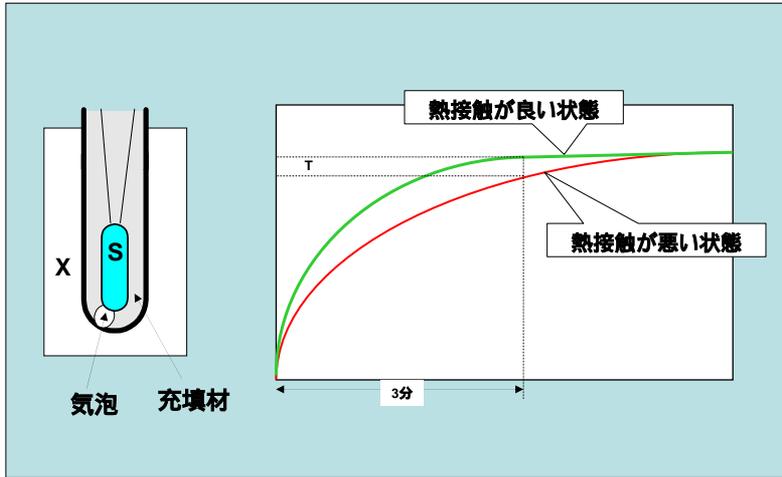
外耳道からの熱を測定し、その影響をキャンセル方法を採用

熱伝達を正確に測定できる最適なセンサ位置を求める

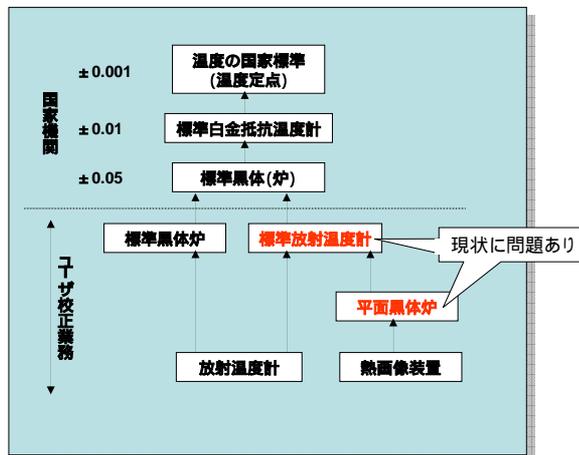
臨床実験に基づき、外耳道からの熱の影響をキャンセルする補正式を求めた



電子体温計での事例



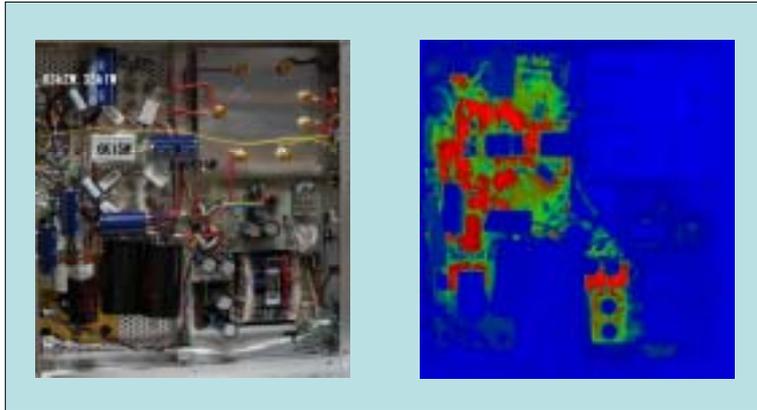
高精度計測に対応したトレーサビリティと各用途に対応した検査システムの確立の必要性



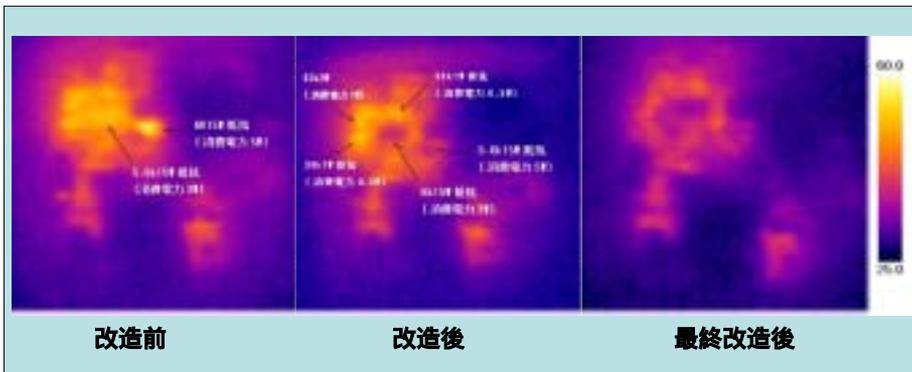
高温領域に比べ常温領域で要求される計測精度は高い



マイクロボロメータ(320*240)型熱画像装置の活用事例



サーモバイル・アレイ(48*47)型熱画像装置の活用事例 ヒートシンク取付けにより熱抵抗を小さく、発熱温度を下げる



↓

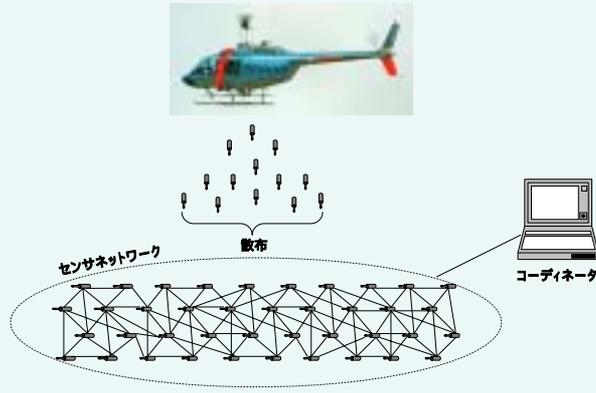
画素数が10万近いマイクロ・ボロメータに対して0.2万位でしかないサーモバイル・アレイでは対象物の細かな判定は難しいが、可視画像やマーカーなどを併用することにより十分な性能を得ることが出来る。



センサ・ネットワークの基本・理想形はスマートダスト

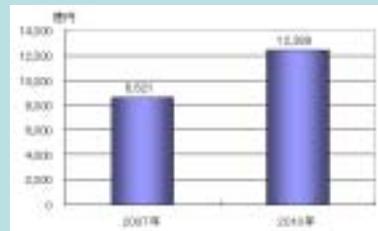
1990年後半 UC Berkeleyで行われた「スマートダスト」プロジェクト

(MEMS、センサ、無線通信技術を集約して自律的なネットワークを構築)



センサ・ネットワークの用途・市場規模

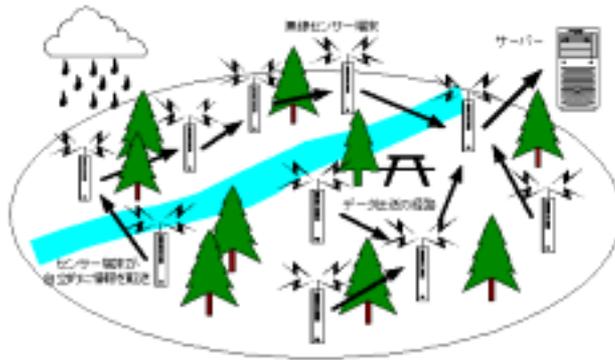
- 防災・災害対策(洪水予報・避難警報・地震モニタリング等)
- 建築物の健全性診断システム
- 生態系調査
- 環境情報取得システム
- 農業生産支援(温室管理、天候・土壌モニタリング)
- 道路情報システム(交通モニタリング、事故防止)
- 子供の安全管理
- ビルオートメーション・メンテナンス
- 医療・介護システム(自宅での健康チェック)
- 防犯・ホームセキュリティ
- クリーンルーム等の高度温度・湿度管理
- 各建築物内のCO2排出管理システム



総務省「ユビキタスセンサネットワーク技術に関する調査研究報告書」



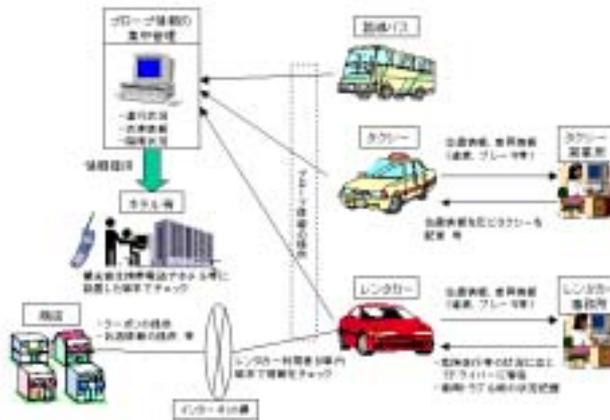
愛・地球博「万博アメダス」



会場20箇所に温度、湿度、日射量、風向、風速、CO2濃度を測定一緑地や自然系の舗装などが熱さを緩和する効果やCO2濃度の変化を検証

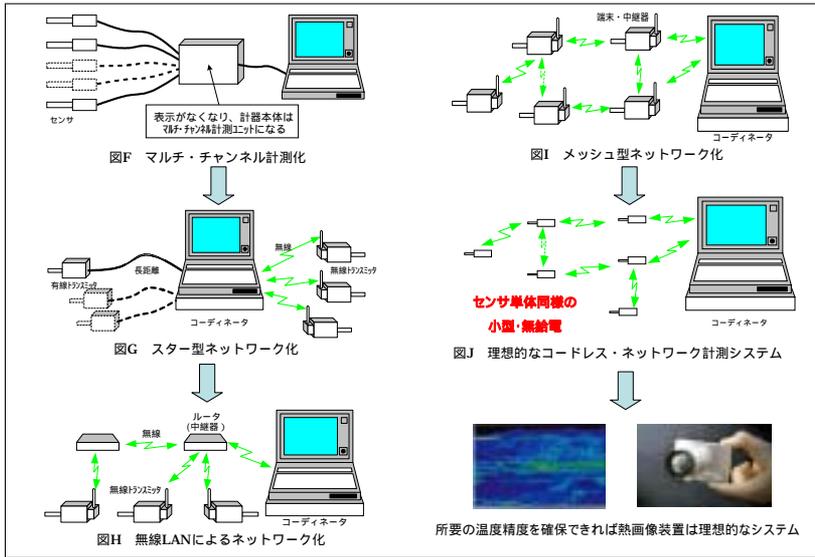


慶応義塾大学「インターネットITS名古屋実証実験」



1,570台のタクシーがセンサ端末となり、渋滞、降雨状況をセンターに伝送することにより、配車、車両の選定、道路迂回、降雨エリアへの空車回送を行った。





理想的なセンサネットを構築する上での技術的課題

- 超低消費電力化 無給電化
- 理想的な自律的なネットワーク構築 (低消費電力化と矛盾し易い)
- 超小型
- 自己発熱が可能な限り小さい
- 温度係数が出来る限り小さい
- 耐ノイズ性が出来る限り小さい



**超低消費電力化と自律的なネットワークの構築が
技術的に矛盾することが多く、
これらの両立が今後のセンサネットの成功の有無を決定**

