

## 重度障害者のムーブメント教育・療法における無線加速度センサノードの適用による 抗重力運動の可視化

大崎 英誉 諏訪 敬祐

武蔵工業大学 環境情報学研究科  
〒224-0015 横浜市都筑区牛久保西 3-3-1  
E-mail: {eiyo, suwa}@yc.musashi-tech.ac.jp

心身両面に重度の障害を持つ障害者を重度重複障害者と呼ぶ。障害による運動経験の欠乏は、障害者の発達と健康において重要な問題となる。障害者の運動経験の増進を目的とした支援にムーブメント教育・療法がある。この支援は、障害者の発達段階に合わせた抗重力運動を経験させることを重視する。本研究では、加速度センサによる運動計測システムを構築した。システムは、対象者に装着した加速度センサを無線制御することで、人体に加わる加速度や、本人の自発的な動きを検出できる。本研究では、運動支援に参加する複数の障害者を対象としてシステムによる計測を行い、計測結果に対しフーリエ解析を行った。健常者の児童と比較して、運動経験の乏しい障害者では、加速度のスペクトルが平坦または乱雑になることを考察する。

### Visualization System by Wireless Wearable Acceleration Sensors for the Movement Education and Therapy

Hidetaka OHSAKI Keisuke SUWA

Research Division in Environmental and Information Studies  
Musashi Institute of Technology  
3-3-1 Ushikubo-nishi, Tuzuki-ku, Yokohama, Kanagawa 224-0015 Japan  
E-mail: {eiyo, suwa}@yc.musashi-tech.ac.jp

A multi-handicapped person is mentally and physically handicapped person. Movement education and therapy are support programs for the multi-handicapped person. The support programs provide an antigravitational movement experience to the person. A coach must know a developmental stage of the person to select the program. We constructed a movement visualize system by wireless wearable acceleration sensor nodes. We measured multi-handicapped persons and an able-bodied child by the system. We made a norm type log from three-axis acceleration log. We compared each norm type log by Fast Fourier Transform. We weigh the difference between each data.

#### 1. はじめに

心身両面の発達に重度の障害を持つ重度重複障害者は、障害による運動経験の欠乏から発達や健康に悪影響を受ける。

障害者の運動経験を増進させる効果的な支援方法としてムーブメント教育・療法がある。

この支援方法では、全身の筋肉を使い、バランス感覚を養う抗重力運動を多く取り入れている。

運動の指導者は、支援する運動の内容を選択するため、対象者の発達段階を記録する必要がある。

本研究では、身体の部位別に運動の内容を計測できる加速度センサを用いて、「ボールプール遊び」と呼ばれるムーブメント教育・療法の運動を記録した。

また、計測した加速度の波形からノルムを求めた後、離散値フーリエ変換を行うことで、運動の傾向を可視化した。

本研究では、計測時の目視による様子と

合わせ、障害のない児童の加速度計測値と比較することで、「ボールプール遊び」に参加する重度重複障害者の運動の特徴を考察する。

## 2. 背景

### 2.1. 重度重複障害者とは

心身両面の発達に重度の障害を持つ障害者を重度重複障害者(以下、重障者)と呼ぶ。

適切な支援を受けられない場合、重障者は、身体的障害から運動を経験する機会が乏しくなる<sup>[1][2]</sup>。

重障者では特に、運動経験の欠乏が続くと、知覚からの刺激の不足や運動に対する興味の低下を引き起こす。

その結果から起きる体力の低下は、重障者の健康にとって重要な課題である。

### 2.2. ムーブメント教育・療法とは

ムーブメント教育・療法(以下、ムーブメント)は、運動経験を通して、人間の発達を増進しようとする教育支援である<sup>[3]</sup>。

その性質から、重障者の運動経験を増進する有効な方法として採用されてきた。

重障者向けのムーブメントでは、健常者向けの内容をそのまま適用することが難しい。理由として、以下のものが挙げられる。

1. 身体的障害から不可能な運動がある。
2. 自発的な動作が必要であるが、本人がそれを理解できない。
3. 発達の遅延から、同年齢の健常者に合わせた運動が難しい。

これらを踏まえ、重障者向けのムーブメントでは、対象者が成人であっても、健常者の幼児向けの運動を採用することが多い。

### 2.3. ムーブメントにおける抗重力運動

ムーブメントでは、抗重力の運動を多く取り入れている。

背筋や腹筋を使い、バランス感覚を要する運動を与えることが重要とされる。

重障者は、この運動に参加することで、寝たきりの姿勢が常態化してしまうことを防ぎ、習熟に伴い、自力でバランスを取る能力を獲得することができる。

重障者向けのムーブメントにおける抗重

力運動では、対象者に運動の意志が無い状態から始めることが多く、トランポリン遊びなど、寝たきりでも刺激を与えられる遊具を使ったものが多い。

万が一の転倒に備える介助者を必要とする場合が多いが、そのコストの分だけ、重障者本人にとっては貴重な運動経験となる。

### 2.4. ボールプール遊びとは

ムーブメントにおける抗重力運動の一つに「ボールプール遊び」がある。

寝たきりの重障者に対しては、全身に加わるリズムカルな加速度を体験させることができる。自発的に座位をとる対象者に対しては、バランス感覚の増進を促すことができる。トランポリンのような重力に対して垂直で直接的な刺激よりは、加速度により平衡感覚を増進する意味合いが強い。

ボールプール遊びの様子を図 1 に示す。



図 1 ボールプール遊びに参加する重障者

具体的な遊具の構成と運動の内容は以下の通りである。

1. 厚手のマット 4 枚で底が浅く四角い囲いのような場所を作る。
2. マットの囲いにカラーボールと呼ばれるプラスチック製ボールを敷き詰める。(ボールをプールの水に見立てて、「ボールプール」の呼び名がある)
3. 対象者を板またはひも付きシートに乗せ、ボールプールの中に浮かべるように運ぶ。
4. 四辺のマットから介助者らが板を押す(シートのひもを引く)ことで、対象

者の身体を滑らせることができる。この時、カラーボールは球体の滑車の役目をする。

5. 対象者に楽しさを感じてもらうため、運動中、音楽の演奏を行う。

## 2.5. 運動の可視化と長期記録の重要性

重障者向けムーブメントでは、年齢を発達段階の指標にすることができない。

対象者の障害の内容や発達状態を考慮した支援内容の選択が必要である<sup>[4]</sup>。

そのため、対象者の現在の運動能力を記録し、可視化することは、重要である。

また、重障者は、心身両面の障害により、発達が遅い。学校の授業として、一年間、ムーブメントを適用しても、明確な成果を得られない場合もある。

重障者に対するムーブメントの効果を把握するには、長期的な記録が重要である。

対象者と関わる期間が限られる学校などでは、ムーブメントの長期記録は難しい。

重障者の家庭での記録の取り扱い、遠隔の専門家による記録の共有などを考慮する必要がある。

## 2.6. 電子装置を用いたムーブメントの記録

ムーブメントの記録については、日誌や評定表<sup>[6]</sup>の利用など筆記を基本とするが、併用する形で様々な道具が用いられてきた。

近年、家庭ではデジタルカメラ、デジタルビデオカメラなどが用いられている。

記録が電子化されているため、保存、検索、共有に優れている。

また、体温計、心拍計など医療用の電子機器を用いた研究も報告されている。

運動中の様子を記録したい場合、本人に着用の意志がなくても計測できるよう、着用できる形状にする必要がある。

取り扱いの容易さや価格から、健常者向けの運動計測用装置も有用だが、装着する場合、重障者の体格に合わせた工夫が必要となる。

本研究では、無線による通信機能を持つ加速度センサを利用した。

## 2.7. 加速度センサノードによる計測

加速度センサは、装着位置に発生した加速度を計測することができる。

加速度の計測値を解析することで、運動

した時刻や運動した身体の部位、その向き、その勢いなどを求めることができる。

また、地球の引力、つまり重力加速度の向きを計測することも可能で、胴体に装着することで計測対象者の姿勢を推定することも可能である。

加速度センサは、ベルト付きのケースに入れることで、容易に四肢に装着できる。

計測者はセンサに対する計測命令とセンサからのデータの受信を、無線を用いて行うことができる。

計測の諸機能に関する通信機能を持つセンサを、センサノードと呼ぶ。

無線の回線を複数用意することで、複数のセンサノードを同時に扱うこともできる。

こうした特徴により、加速度センサノードは、対象者の運動を阻害せずに対象者の身体に発生する加速度を計測できる。

## 2.8. 加速度センサノードを用いた重障者向けムーブメント計測の現状

重障者向けムーブメントにおける、加速度センサノードによる計測例は少ない<sup>[7]</sup>。

理由として、次のような点が挙げられる。

1. 寸法、重量、価格の点で運動計測に適した加速度センサは、近年まで普及しなかった。
2. 計測の意志を持たない重障者に装着可能な形状が少なかった。
3. リハビリや競技とは異なり、運動の開始や終了は明確ではなく、計測時間の定義が難しい。
4. ムーブメントでは、数ヶ月単位で運動の種類を交代することが多く、同一の対象者、同一の運動について短期間で大量の計測を行うことが難しい。

重障者に対する抗重力運動の効果については、静止画や映像による評価に加え、数値による指標が重要である。

運動内容の数値による評価は、計測対象者について、本人の過去の記録や、ほかの重障者との比較を容易にする。

加速度センサについては特に、選択した運動が対象者に与える運動の勢いや回数を数値で記録するのに適する。

心拍計による計測では、遊具から加えた

動の回数や強さに対し、数値が比例しない事例が報告されている<sup>[6]</sup>。

これに対し、加速度センサは、加えた運動そのものを計測できる。

心拍数など別の指標との比較に備え、加速度による記録は、有用と考えられる。

## 2.9. 3軸の加速度計測値に対する解析手法

前後、左右、上下の向きの加速度を計測する場合、それぞれ正負の値を持つ3軸の加速度センサが有効である。

本研究では、3軸加速度センサを利用し、各軸を、x軸、y軸、z軸と呼称する。

センサは、これを正負の記号を持つ離散値で表現する。

加速度センサは、自由落下しない限り、地面と垂直の方向に重力加速度を検出する。

このため、静止した状態でも、全ての軸で計測値がゼロになることは無い。また、センサを傾げるだけで各軸の加速度の平均値は大きく変動する。

装着用途の場合、装着位置と加速度の波形から計測当時の身体部位の向きを推定することは可能だが、計算が煩雑になる。

本研究では、3軸の計測値を3次元のベクトルとして、そのノルムを求める。

本研究では、3次元ベクトルのノルムを式(1)に定義する。

式中の記号であるx、y、zは、加速度センサにおける、3軸それぞれの呼称に対応している。

$$\left\| \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \right\| = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad (1)$$

また、人体に発生する動きのリズムを確認するには、重力加速度を含んだノルムの波形に対し、その周波数成分を求めるフーリエ変換<sup>[8]</sup>が有効である。

## 3. 目的

### 3.1. 計測の目的

本研究では、加速度センサノードを用いた運動計測システムにより、ムーブメントに参加する重障者の抗重力運動を計測する。

複数人の重障者を計測することで、重障者ごとに異なる特徴が表れるかどうかを検証する。

計測値に対しフーリエ変換を行い、その結果と計測時の目視の結果と併せることで、重障者の運動を考察し、分類する。

計測値の解析手順詳細は、後述する。

### 3.2. システム構成

運動計測システムの構成を図2に示す。

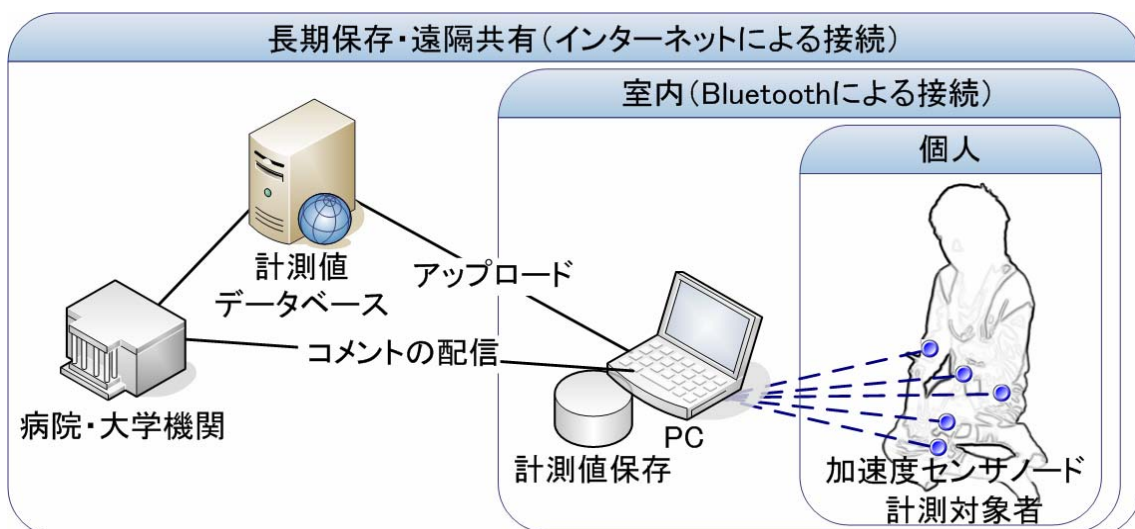


図2 計測システムの構成

加速度センサノードは、計測対象者の身体にベルト付きビニールケースで固定する。

センサノードは、Bluetoothにより、持ち運び可能なノート型パーソナルコンピュータ（以下、PC）と通信する。

PCは、加速度センサノードの内蔵時計に時刻を送信して同期を行い、計測値を受信して内蔵のハードディスクに保存する。

これらの構成により特定の施設に依存せず、計測を行うことが可能となる。

受信チャンネルによるセンサ装着部位の特定、測定時刻に基づいた複数箇所の計測結果の同期、全体の運動を検出するための情報の統合もPCで行うことができる。

PCは、記録の長期保存に備え、インターネット上の大容量サーバに計測値をアップロードすることができる。

このアップロードにより、遠隔の教育、医療機関との情報共有も容易になる。

ムーブメントを行う現場の介助者が、計測結果について遠隔でコメントを受信することも可能となる。

#### 4. ムーブメントにおける重障者の計測

##### 4.1. 計測方法

「ボールプール遊び」に参加する重障者3名、および、比較対象として健常者の児童1名を計測した。

各対象者の属性を表1に示す。呼称は当該対象者の本論での仮名を表している。

表1 計測対象者群属性

対象者	呼称	属性		
		分類	年齢	性別
	A	重障者	20歳	女性
	B	重障者	19歳	男性
	C	重障者	13歳	男性
	D	健常者	4歳	男性
計測日	2008年01月12日			

##### 4.2. 計測システム諸元

計測対象者の右手首に専用のベルトケースを用いて加速度センサノードを装着した。

計測にて対象者に装着したセンサノードの諸元詳細を表2に示す。

表2 センサノード計測諸元<sup>[9],[10]</sup>

センサノード	WAA-001
計測間隔	5(msec)
時間平均回数	1(回)
装着部位	右手首 1(個)

運動支援が行われる室内にノート型PCを持ち込み、無線にBluetoothを用いて加速度センサの制御と計測値の保存を行った。

##### 4.3. 目視による各対象者の様子

介助者らは、対象者の反応を随時確認しながら揺れを与えていた。介助者から与える運動を一定としない理由には以下のような理由が挙げられる。

1. 転落や転倒を防ぐ身体的な安全の配慮。
2. 恐怖から遊びを忌避しないようにする心理的な安全の配慮。
3. 退屈さを防ぎ、自発的な反応を引き出す心理的な積極性の配慮。

計測時、各対象者は、遊具の変更を含め1～2回、ボールプール遊びに参加しており、それぞれを計測した。本論では、記述を明確にするため、注目するデータ群を選び、取り上げた。

各対象者について、使用した遊具と運動中の姿勢について、表3に示す。

表3 使用した遊具および各対象者の姿勢

対象者	n回目	遊具	姿勢
A	1回目	シート	仰向け
B	1回目	シート	仰向け
C	1回目	シート	仰向け
	2回目	板	正座位
D	1回目	板	正座位

取り上げたデータにおける対象者の反応の概要を表4に示す。

表 4 計測における各対象者の反応

対象者	n 回目	反応の概要
A	1 回目	リラックスしている。 動きは乏しい。
B	2 回目	ほぼ眠った状態。 動きは乏しい。
C	1 回目	加えた動きの向きに関 わらず、手足で拍子を打 つ。
	2 回目	
D	1 回目	板の揺れに合わせて積 極的にバランスを取る。

#### 4.4. 計測した加速度のフーリエ変換の結果

計測システムを用いて「ボールプール遊び」に参加する対象者群を計測した。

対象者 A~D について、表 2 の計測間隔にて、各回 16384 周期分以上計測した。

各対象者の計測結果について、波形の目視により運動中の時間を中心に、連続した 16384 周期 (約 1 分 22 秒) 分を取り出し、式(1)にてノルムのデータを作成した。

「ボールプール遊び」における各人のノルムのデータについて、フーリエ変換を行った。

比較を容易にするため、横軸は 10(Hz)、縦軸は 80(Level)を上限として、変換結果の一部を抽出した。

各人の抽出結果を図 3~図 7 に示す。

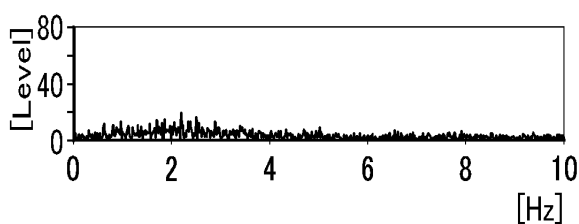


図 3 対象者 A のフーリエ変換結果

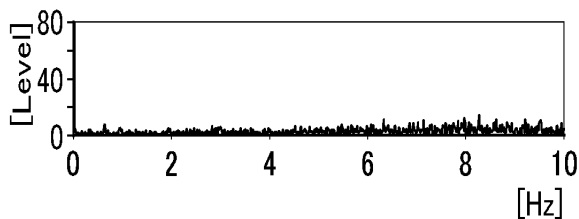


図 4 対象者 B のフーリエ変換結果

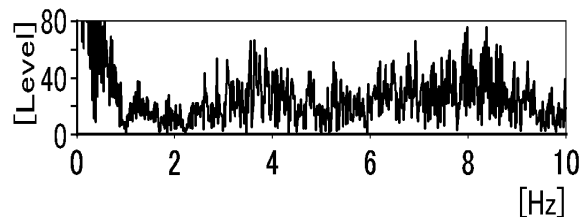


図 5 対象者 C-シートのフーリエ変換結果

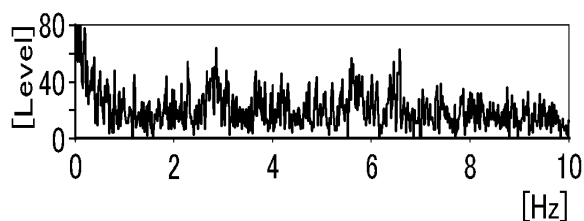


図 6 対象者 C-板のフーリエ変換結果

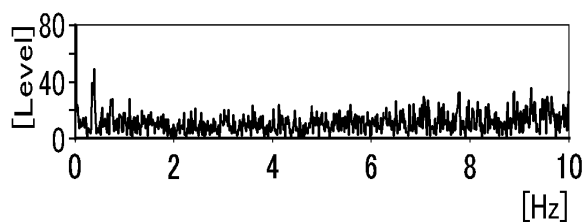


図 7 対象者 D のフーリエ変換結果

#### 4.5. 変換結果の比較による考察

図 3 と図 4 を比較することにより、重障者 A, B についてはいずれも、各周波数の成分が乏しいことが分かる。

表 4 で述べた反応の概要を合わせると、対象者の動きが乏しい場合、本人の精神的な状態に関わらず、フーリエ変換の結果は類似すると考えられる。

図 3 と図 5 を比較することにより、同じシートに乗った場合でも、重障者 C の結果は、0 Hz 付近や 8 Hz など複数の周波数に強い信号を持つことが分かる。これは、対象者が手を動かしていた様子を、今回の解析手法が検出したものと考えられる。

ここで、対象者の手の動きが、加えられた力に対して本人の姿勢を安定させるものとは言い難かった点に注目する。

重障者 A,B と比較すれば、重障者 C の結果には動きの自発性が見られるが、信号の強さがそのまま、揺れに対する本人の積極的な姿勢制御を示しているとは言い難い。

図 5 と図 6 を比較する。シートに乗った場合と板に乗った場合の結果の差異について、同一の対象者のデータをもとに考える。シートと板では、スペクトルに差異を確認できるものの、3Hz 前後に強い信号があるなど、類似する箇所も多い。さらに、同じくシートに乗っていた対象者 A の図 3 における信号分布を踏まえると、図 5、図 6 に見受けられる類似は、いずれの場合でも対象者が手足を動かしていた点にあると考えられる。

図 3 と図 5、図 7 を比較する。健常者 D の変換結果は、重障者 A ほど静止しておらず、重障者 C ほど激しくもないものとなっている。

健常者 D は、板の上に正座を崩したような姿勢で座り、介助者が大きな力を加えてもバランスを保っていた。

図 7 の周波数分布は、板に自発的に乗り、加えられる力に適切に対応した対象者の動きを反映したものと考えられる。また、対象者に転倒の危険が少なかったことから、介助者もリズムカルな動きを与えやすかったものと考えられる。

## 5. 考察/課題

揺れに対して適切にバランスを取る健常者の児童と比較をすることで、ボールプール遊びにおける重障者の計測結果について、2つの類型を確認した。

対象者 A,B の例のように、身体の動きは類似していても、意識の状態に差異が見られる場合の定量計測では、加速度センサに加え、心拍計など別の装置を併用することが有効と考えられる。

計測結果の収集を進め、対象者の発達と 3 軸加速度ノルムのスペクトル結果の相関について明らかにする予定である。

## 6. おわりに

本研究では、重障者に対するムーブメン

トの有効性を踏まえ、その計測方法として、無線通信機能をもつ 3 軸加速度センサノードを利用した運動計測システムを構築した。

反応に乏しい重障者の運動、揺れに対応しない動きをする重障者の運動、揺れに対応してバランスを取る健常者の運動について、システムを用いて運動を計測した。

システムから得た計測値について、ノルムを求め、その結果にフーリエ変換を行い、運動の内容との相関を考察した。

計測した動きが類似していれば、計測値のノルムをフーリエ変換した結果は、類似することを明らかにした。

計測値のノルムについて、フーリエ変換の信号の強さに対象者の自発的な動きが表れることを明らかにした。また、自発的であれば、対象者が姿勢の維持を目的としない動きでも強い信号として検出されることを明らかにした。

与えられた揺れに対してバランスを取る健常者児童について、加速度のノルムをフーリエ変換した場合のスペクトルを明らかにした。これは、「ボールプール遊び」に関して、平衡感覚と筋力が適切に発達した参加者の計測例として、重障者向け運動支援の目標例となりうると思う。

今後は、計測結果を蓄積することで、発達段階の分類を体系化する予定である。

## 文献

- [1] 小林 芳文 編, “ムーブメント教育・療法による発達支援ステップガイド”, 株式会社 日本文化科学社, p11, 2006.2
- [2] 監修: 仁志田 博司, 編集: 小林 芳文, 藤村 元邦, “医療スタッフのためのムーブメントセラピー”, 株式会社メディカ出版, p15, 2003.3
- [3] Marianne Frostig 著, 小林 芳文 訳, “フロスティグのムーブメント教育・療法”, 株式会社 日本文化科学社, p6, 2007.6
- [4] 新井良保, 小林芳文, “重度重複障害児の感覚運動指導 -MEPA-II を活用した実践を通して-”, 日本特殊教育学会, 37(5), pp53-60, 2000
- [5] 小林 芳文(著者代表), “乳幼児と障害児の感覚運動発達アセスメント”, 株式会社 コレール社, pp8-9, 1992.1

- [6] 小林 保子, 小林 芳文, "トランポリンによる垂直型前庭刺激運動と重度重複障害児の心拍低下反応", 日本特殊教育学会, 重度・重複障害 10-24, pp554-555, 1998
- [7] 大崎 英誉, 諏訪 敬祐, "障害者向け運動教育・療法における加速度センサーによる発達可視化システムの提案", 社団法人 情報処理学会, 情報処理学会研究報告, 2007-MBL-42, Vol.2007, No. 98, pp73-80, 2007.09
- [8] 南 茂夫, "科学計測のための波形データ処理", CQ 出版株式会社, pp140-165, 1986
- [9] ワイヤレステクノロジー株式会社, "小型無線加速度センサ Model: WAA-001 取扱説明書 (Ver. 2.1.0 2006.9.20)", ワイヤレステクノロジー株式会社, 2006.9
- [10] ワイヤレステクノロジー株式会社, "WTI\_Note Q&A", [http://www.wireless-t.jp/note\\_qa.html](http://www.wireless-t.jp/note_qa.html), 2006