

# AMCoR

Asahikawa Medical University Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

電子情報通信学会技術研究報告(超音波) (2014) 43:1-6.

観測開口面に防滴対策を有するドプラ外測ウロダイナミクス測定用空中ドプラ送受信機空中超音波ドプラシステム及びミリ波電磁波ドプラシステムにおける改良

竹内 康人

## 観測開口面に防滴対策を有するドブラ外測ウロダイナミクス測定用空中ドブラ送受信機 空中超音波ドブラシステム及びミリ波電磁波ドブラシステムにおける改良

竹内康人

旭川医科大学 医学部 腎泌尿器外科学講座

y.takeuchi@ieee.org

あらまし： 著者らは指にはめるウェアラブルデバイス形式のドブラセンサにより放尿時の尿動態(ウロダイナミクス)を体外にて計測する(外測)システムを開発し、臨床実用化している。しかしながら実用設計における1つの課題はセンサ部分の防水ないし防滴対策である。本研究においては指はめ型のドブラセンサとして、周波数40KHz程度の空中超音波を用いる設計と、同じくKバンド(24GHz)のマイクロ波(ミリ波に近いので以下用語マイクロ波とミリ波は混用する)を用いる設計とを試作し、その各々についてドリップテストを行った。結論としてマイクロ波ドブラセンサはごく簡素な薄肉プラスチック壁構造で堅牢に防滴出来るのに対し、空中超音波ドブラセンサはその音響特性を犠牲にせず防滴対策を講じる事が難しく、慎重な配慮が必要である事が判明した。本研究では両者に関しこのような観点から適切な改良を施した設計試作の結果のいくつかを報告する。尚、本研究は先のUS2014-28 (6)の続編であり、その内容の一部は重複する。

キーワード：防滴、ドブラ、ウロダイナミクス、空中超音波、マイクロ波、ミリ波

### Airborne Doppler System Designs for External Urodynamics Study with Drip-Proof Aperture; Improvements in Airborne Ultrasound and Millimeter Wave Doppler Systems

Yasuhito Takeuchi

Asahikawa Medical University, Department of Renal and Urologic Surgery

y.takeuchi@ieee.org

Abstract: Along with our continued development of wearable, finger mount Doppler sensor for external urodynamics study, we have noticed that a drip-proof design for sensor head is inevitable. For our final prototyping of this device for clinical application we devised several trial designs for such drip-proof aperture for our Doppler sensors, for airborne ultrasound design and mm-wave electromagnetic wave design. Here we disclose such designs and each of test results with laboratory phantom splash test. This report is continuing part of our prior report US2014-28 (6) in this society, and is partly in duplicate.

Keywords: Drip-proof, Doppler, Urodynamics, Airborne ultrasound, Microwave, Millimeter wave.

---

#### (1) 研究の背景 1：ドブラ法外測ウロダイナミクス計測の概要と問題点

当研究陣はこの所、泌尿器科医学において必要不可欠な臨床計測である尿動態計測(ウロダイナミクス計測)に関し、これを非接触的に、空中に放たれ走行する尿をミリ波電磁波または空中超音波によるドブラ計測する事で実施、その流速、流量等を定量計測するシステムを開発し(1)-(4)、臨床応用への実用化の段階に達している。我々の方法は特に患者すなわち被検査者が自らドブラセンサを指に嵌めて放尿するウェアラブルデバイスの形式を採用し、採取された尿流ドブラ信号の伝送、信号処理、分析計測、またアーカイブなども患者個人持ちのスマホなどのPDAを経由してネットワーク側のクラウド環境にて行う方式を構築しつつある。これにより「いつでも、どこでも」日常生活状態での自

然な排尿を患者自身が自律的に観測またデータ化し、初期的な自動診断などを得る事ができるようになり、自律ヘルスケアという見地から医療にまた新たな場面をもたらす事が期待される。指はめ型のドプラセンサとしては周波数 40KHz 程度の空中超音波を用いる設計と、同じく K バンド(24GHz)のマイクロ波を用いる設計とを試作している。しかしながら患者が装着するセンサは清潔維持のために丸洗いもしくは少なくとも拭き清めができなければならない、また尿の滴が掛かる可能性が否定出来ないのいわゆるドリッププルーフな構造である必要がある。そこで本研究においてはマイクロ波、超音波の各々のセンサについてドリップテストを行った。結論としてマイクロ波ドプラセンサはごく簡素な薄肉プラスチック壁構造で堅牢に防滴出来るのに対し、空中超音波ドプラセンサはその音響特性を犠牲にせずに防滴対策を講じる事が難しく、慎重な配慮が必要である事が判明した。本研究では両者に関しこのような観点からさらに適切な改良を施した設計試作の結果のいくつかを報告する。尚、本研究は先の US2014-28 の続編であり、その内容の一部は重複する。

## (2) 研究の背景 2 : マイクロ波方式と空中超音波方式は利用技術上コンパチブルか

この計測に関し、マイクロ波、超音波両方式があり得、実用上コンパチブルである事は著者がすでに 1988 年に検証し、発表済みである(5)。しかしながら当時は K バンドドプラユニットは厚重的な鋳物の導波管にマウントされたガン発振器および検波ダイオード (図 1) であり、消費電力は数ワットもあり、また大変高価で、空中超音波方式には太刀打ちすべくもなかった。しかしながら時代はこれを回路基板マウントのストリップライン発振器とパッチアンテナに進歩せしめ (図 2 右)、消費電力も 100-200mW の桁に低減せしめ、超音波方式の 10-20mW とはまだ開きがあるものの十分期待が持てる所に来ている(6)。本研究では先ずこの両方式の利用技術上コンパチビリティに関して追試検証を行った。

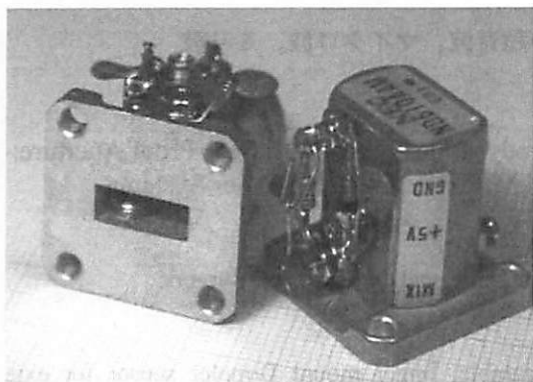


Fig.1: Waveguide mounted K-band Gunn-Oscillator Doppler unit. (1988)

図 2 に本研究において採用している 40KHz 空中超音波方式および K バンド(24GHz)マイクロ波方式の各々の指嵌め型のウェアラブルドプラユニットを示す。いずれも回路方式としては最も簡素なホモダイン検波 CW ドプラ方式の物である。図 2 の右端には K バンドのユニットの回路部分 (裏面、指側のシールドケース内) とパッチアンテナ対 (表面) 拡大表示してある。これにおいて、ハイライトされた部分が半波長ストリップライン共振器に基づく発振器、上方の円環がミキサダイオード 2 個を含むラットレース回路である。

図 3 はマイクロ波センサと超音波センサを並べて実装し、1つのターゲット (放尿) を同時に観測

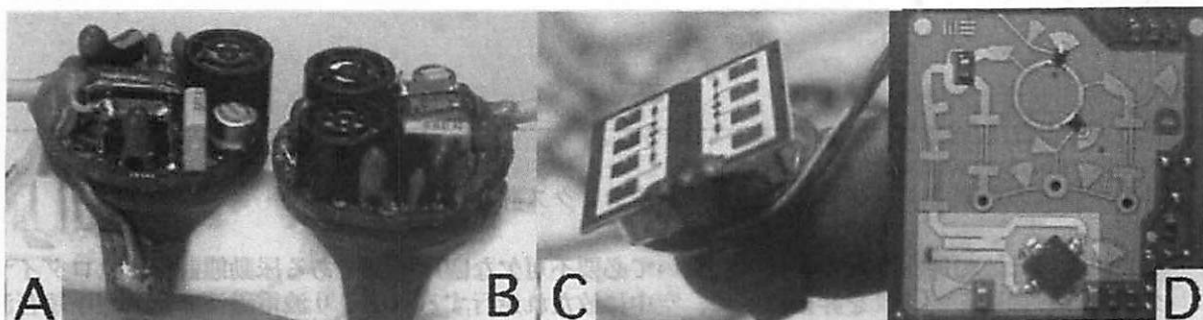


Fig.2: Finger mount wearable CW-Doppler sensors used in this study: A: 40KHz ultrasound ( $\lambda=8.5\text{mm}$ ) single transducer (T/R common) model, B: same, dual transducer (T/R separated) model, C: K-band (24GHz,  $\lambda=12.5\text{mm}$ ) model, D: circuit side of unit C. The highlighted part is MMIC oscillator with strip-line resonator, the ring at top is rat-race circuit loaded by mixer diodes. Size of D is about 20x20mm.

出来るようにした物を示す。図4はこれを用いて1回の放尿を同時観測した結果の信号波形とスペクトラムを示す。各々のドプラスペクトラムの像は縦軸を視線速度に関して同じ目盛りになるように調整して表示してある。これを見ると、この目的(外測ウロダイナミクス計測)に関してマイクロ波と空中超音波は殆どないし全くコンパチブルであると言え、後段の定性および定量計測のソフトウェアも共用出来る見込みが非常に高いと言える。

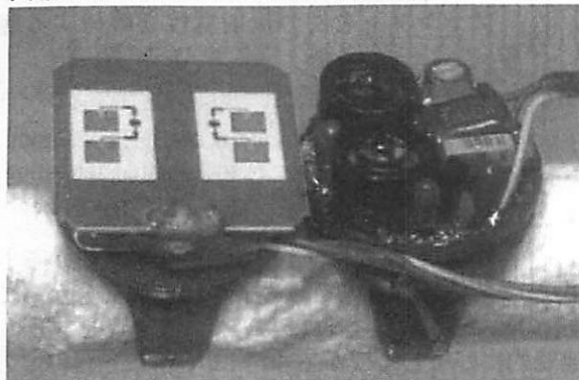


Fig.3: K-band microwave (left) and 40KHz ultrasound finger mount wearable Doppler units arranged to view single target with almost same sensing area.

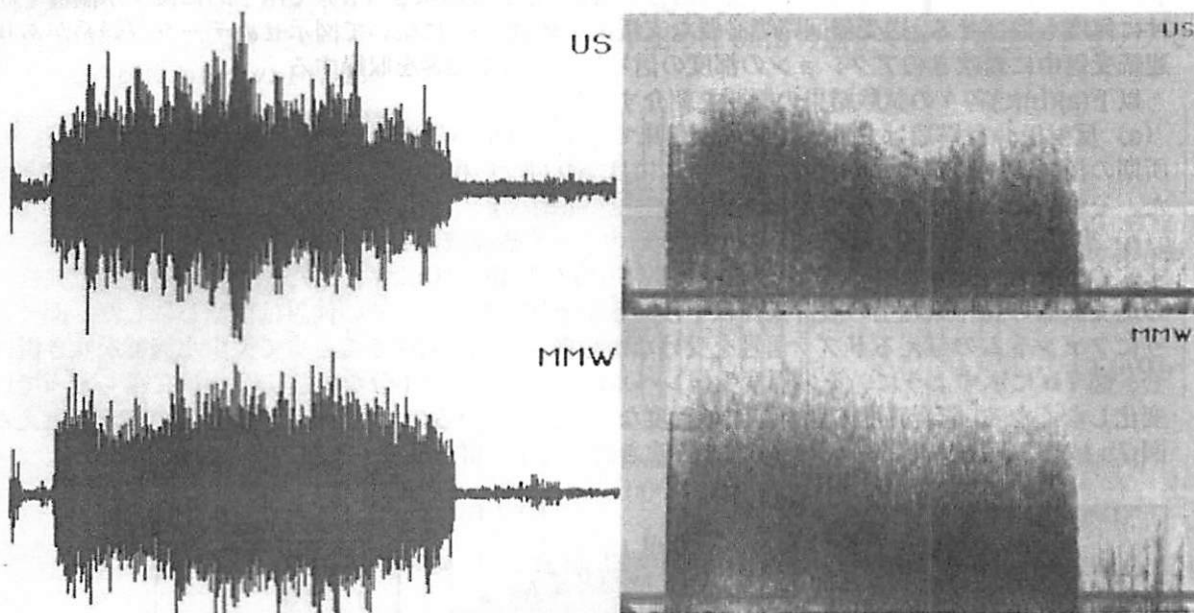


Fig.4: Doppler signals (left) and their spectra (right) of single urination, 40KHz airborne ultrasound (upper pair) and K-band microwave (lower pair), taken by the devices shown in fig.3. Horizontal axis span for about 40 sec., while actual urination about 30 sec. Doppler-shift axes (vertical) are line-of-sight velocity matched to each other. In this case velocity span about (zero to) 3m/sec. of running urea speed.

### (3) 本研究の課題および実験結果 (1)

先ず 40KHz 空中超音波 CW ドプラスシステムについて、センサの開口面にドリップ対策が必要である事から、また特に開放共鳴室型の送受波器はドリップ被害に誠に脆弱である事が分かっているので、以下の構造を試作、評価した。

- (a) 反射板介在構造
- (b) 後退導波管構造
- (c) U字型導波管構造

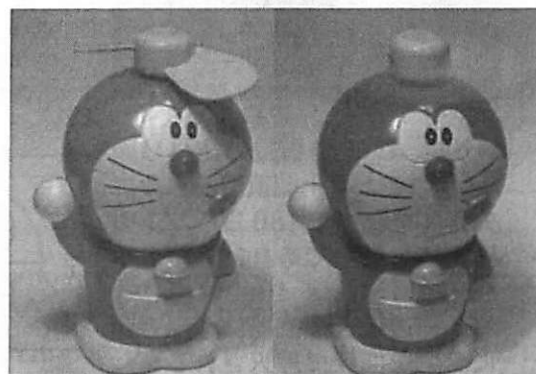
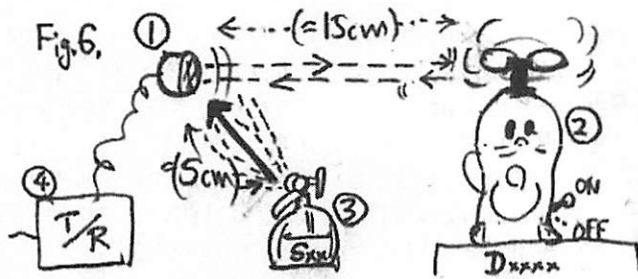


Fig.5: Airborne ultrasound and microwave Doppler phantom (mini-fan) used in this study. Hold (left) and on-service (right) status.



評価は空中において一定の、しかも適切なドプラシフトを持つ反射性を維持する運動

Fig.6: Scheme of drip proof test.

- (1) device under test (Doppler sensor)
- (2) Doppler (Doraemon, see fig.5) phantom.
- (3) water spray generator, manual activating.
- (4) supporting electronics for sensor.

物体ファントムを用いて行った。かかるドプラシステム評価用の運動物体ファントムとしては小さなファンが適切である事が経験的に分かっているので、図5に示すような物を用いた。図6に試験系の構成を示す。これにおいて、被検査センサ(1)はドプラファントム(2)の与えるドプラ信号が連続的に好ましく受かるように大略15cm程度の距離にセットされ、その状態で約45度の側方5cmほどから霧吹き(3)で用手的に微小水滴群を立続けに何度も浴びせる。送受信回路等必要な支援電子装置(4)に続いて図示せぬデータ収録系があり、連続受信中に霧吹きのアクションの都度の信号レベルの変化等を収録する。

以下(a)(b)(c)各々の試験結果の概要を紹介する。

(a) 反射板介在構造はドリップ対策の意味で一定の成果が認められたが、適切なサイズの反射板は所期の指嵌めウエアラブル構造のデバイスにはなり得ない程の大きな寸法であったため、廃案となった。それ故に本稿ではその解説は割愛する。

(b) 後退導波管構造(直管型防具)は図7aのごとく送受波器を穴の奥に置いた物である。とりあえず穴の径を送受波器と同じ8mmとし、引っ込める距離は10mmとした。この構造は開放共鳴室式の送受波器の動作原理上の設計条件に干渉する可能性があるが、その検討は後回しにした。図6のようにファントムの与えるドプラ信号を受けながら横合いから霧吹きでもって微小水滴群を吹き掛けると、図7bに示すように、その都度受信レベルは斬減する物の半分ないし1/3程度に落ちた所で以後変化しなくなる。総合感度の低下がこの程度ならば許容出来るので、この手法は有効であると言える。図7bは約20秒、所々のヒゲが霧吹きの吹き掛ける水滴群の成す大振幅のドプラ信号である。

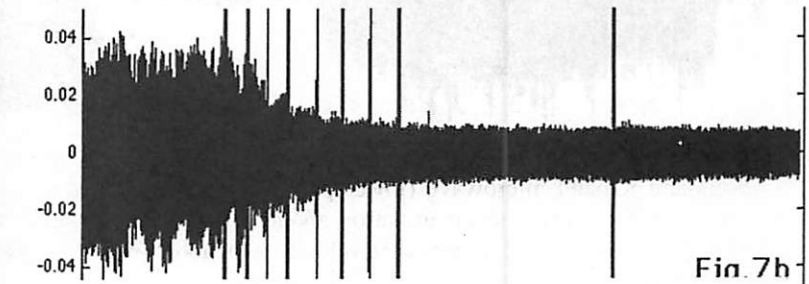
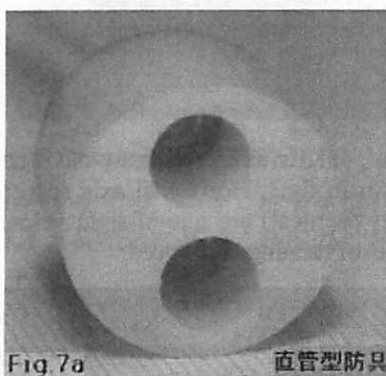
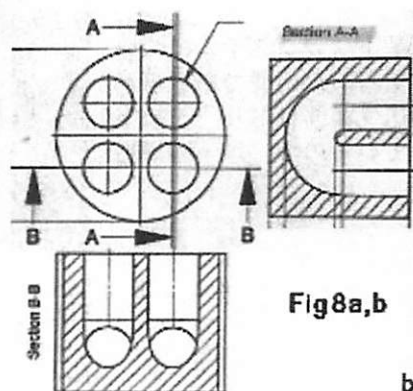
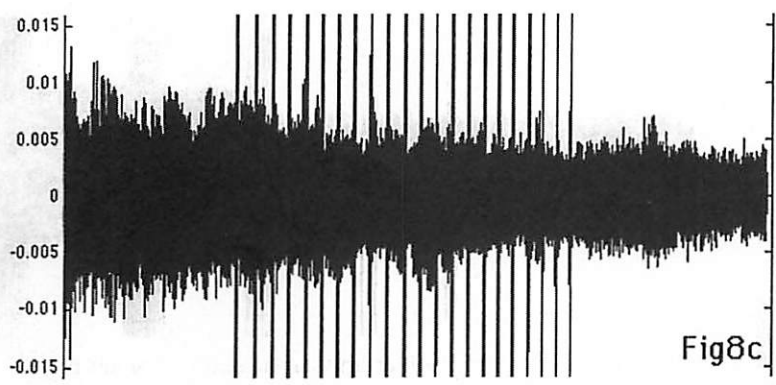


Fig.7a,b: Straight duct protector: Structure (7a) and receiving signal strength during 8 times drip exposures. Total length in time about 20 sec.

(c) U字管構造の防具は図8a,bのごとく上記直管をさらに奥行きを取って180度ベントの構造にした物であり、管路の中心軸の直線長は40mm程になる。構造上送受波器は正面方向にお尻を向けて挿入される事になる。これによると、図8cの如く霧吹きの被害による総合感度低下は本質的に見られない。図に見る信号振幅の一定のペースでの斬減は霧吹きとは別の理由







による、おそらくファントムとの位置関係の斬変に由来するものと

Fig.8a,b (prior page) and 8c (left): U-shape 180° bent duct for drip protection. Scale factor of fig.8c is same as fig.7b.

考えられる。以上よりこのU字管構造の防具は当該目的に好ましく利用可能である。ただし、後に述べるごとく、防具に由来する本質

的な感度低下および送受総合の指向性の変化には慎重な考慮が必要である。ここで比較のために何の防護もない送受波器の場合のドリップ被害を下記に再掲しておく。

(d) 丸裸の送受波器とそのドリップ被害の典型例は下記の図 9a,b の通りであり、数発のドリップでドプラ総合感度が数分の1程度以下に低下する。

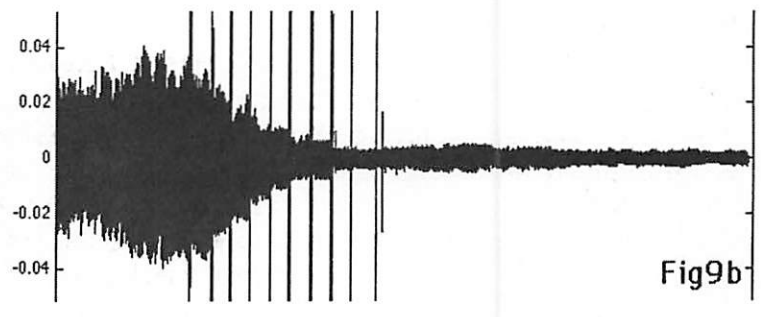


Fig.9a,b: Example of drip disaster (b) of unprotected, transducer (a).

以上をまとめると、40KHz 空中超音波ドプラユニットに関するドリップ対策としては下記表 1 のような結果が得られ、直管、U字管とも設計上採用可能な範囲にある事が判明した。

	防具による相対的感度損失	ドリップ被害による損失
無対策 (裸)	0 (基準)	14dB 以上あり
45°反射板	2dB 程度	3dB 程度
直管	2dB 程度	6-9dB 程度
U字管	12dB 程度	殆どない (観測出来ない)

表 1 : 空中超音波ドプラにおけるドリップ対策の各方式の概要

(4) 実験結果 (2)

Kバンドのマイクロ波は薄いプラスチック板を大きな損失なく透過するので、そのCWドプラユニットは簡単なプラスチック容器に収容する事で有効にドリップ対策が成り立つ事は既報(6)の通りである。図 10a,b にそれを例示する。これにおいて、大略 1mm 厚の亚克力板を正面板とする容器に収容された K バンド CW ドプラユニットは図 1 の構成でドリップテストに付すと、図の如く正面板に水滴がまつわりつく状態に至っても検出感度の低下は見られない。この実験の場合、水滴群の被着の結果かえって受信信号の振幅がやや増加しているが、理由は不明である。結論として、K バンド CW ドプラユニットにおけるドリップ対策はこれ以上の改良努力の必要はないと考えられる。

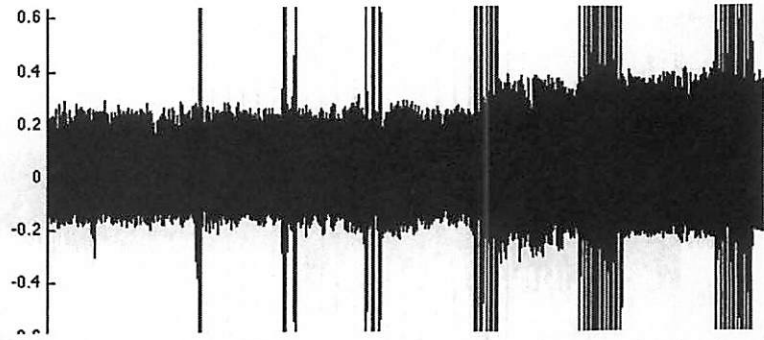
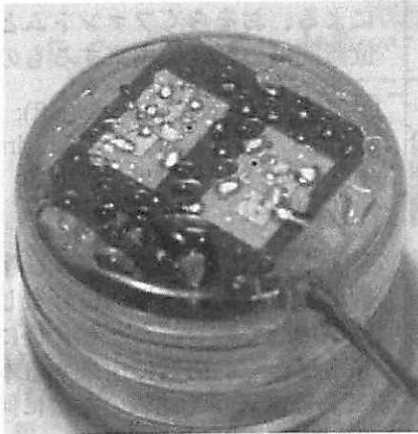


Fig.10a,b: K-band CW-Doppler unit capsulated in a small plastic (acrylic) container. It is quite insensitive to drip sticking to surface (even signal slightly increases. unknown reason).

### (5) 結果と考察、今後の方針

以上より、外測ドプラウロダイナミクス計測システムのためには空中超音波システムとマイクロ波ないしミリ波システムとは応用技術上ほぼ完全にコンパチブルである事、また当該目的の空中超音波ドプラシステムの観測開口面の防滴対策は送受波機器を直管ないしU字管により「奥の方へ引っ込める」事で実用的に解決可能である事が実験的に証明された。が、さらに、大所高所から考えると当該目的にはKバンド等におけるマイクロ波、ミリ波のドプラシステムの方が「たちがよい」という心証を得る。しかしながら指嵌めウエアラブル構成に、さらには好ましくは指嵌めセンサユニットからの伝送をワイヤレスに、という期待からはマイクロ波ないしミリ波のシステムはその消費電力に関して

表 2 : 各方式の消費電力	year	carrier osc	power drain
K-band MW (fig.1)	1988	Gunn diode	5Vx0.5A, 2.5W
K-band MW (fig.2c,3L)	2013	GaAs MMIC	5Vx35mA, 175mW
40KHz US (fig.2a,b,3R)	2012	CMOS SSI	3Vx3.5mA, 10.5mW

まだまだ改良の余地があり、現時点では実用設計への採用の見通しが得られていない。参考までに各方式の消費電力を表2に提示する。

### (6) 謝辞

作曲家幸田学氏には簡易なドプラファントムとして内蔵電池とモーターで実際に回るタケコプターつきドラエモンのフィギュア(図5)を提案、また実物を提供して頂いたので、謝辞を謹呈する。

### (7) 参考文献

- (1) S. Matsumoto, et. al., J. Urol., 189, e341 (2013), Abstract No. 831.
- (2) 松本、竹内、柿崎、泌尿紀要, 58, 465-469 (2012)
- (3) 松本、竹内、柿崎、日本超音波医学会基礎技術研究会資料, 2011, 20-25 (2011).
- (4) 松本、竹内、柿崎、「ウエアラブル空中超音波ドプラを用いたウロダイナミクス計測システムの開発」、パーソナル・ヘルスケア (単行本)、pp117-128、(株) エヌティーエス(東京)2013. 10. 23
- (5) Y. Takeuchi, 13th IRMMW, session F1.8, SPIE Volume1039, 1988
- (6) 竹内、信学技報 US2014-28, 15-20 (2014-07)