

EMI低減化のための スイッチングノイズ・スペクトラム拡散技術 を用いたDC-DC変換回路

群馬大学大学院 工学研究科 電気電子工学専攻
通信処理システム第2研究室 小林研究室

○定村宏 大門 孝幸 進藤 崇之 小林 春夫(群馬大学)
名野 隆夫 鈴木達也 河井 周平 飯島 隆(三洋電機)

発表内容

1. 研究背景と目的
2. DC-DC変換回路の原理と特徴
3. DC-DC変換回路におけるノイズパワー・スペクトラム
拡散方式「**Pseudo Random digital
Modulation**」
PRM方式の提案
4. **PRM**方式の特徴と効果
5. 結論

発表内容

1. 研究背景と目的

2. DC-DC変換回路の原理と特徴
3. DC-DC変換回路におけるノイズパワー・スペクトラム
拡散方式「**Pseudo Random digital
Modulation**」
PRM方式の提案
4. **PRM**方式の特徴と効果
5. 結論

研究背景と目的

- 近年の携帯機器の普及
- 端末の多機能化



- 小型・高効率
- 複数電圧源の利用(マルチ電源)
- 低電圧化

スイッチング電源の特徴

◆メリット

- 高効率
- 出力電圧が連続可変
- 大電流出力

◆デメリット

- 外付けコイルが必要(小型化が困難)
- ノイズが大きい

研究背景と目的

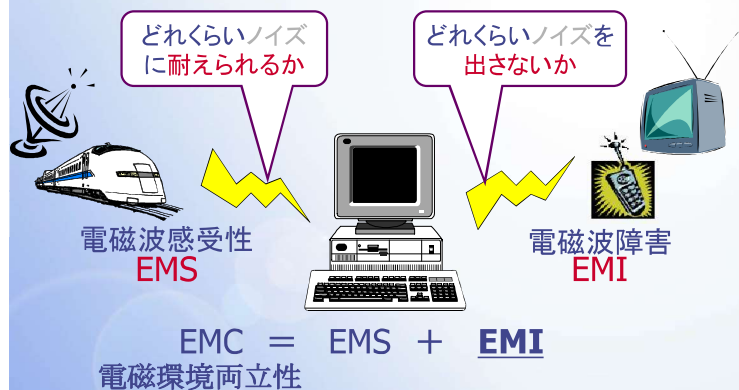
◆DC-DC変換回路の問題点

「スイッチング・ノイズ 高調波ノイズに着目」



スイッチングノイズパワーのスペクトラム拡散技術による
EMI(電磁障害)低減手法の新提案

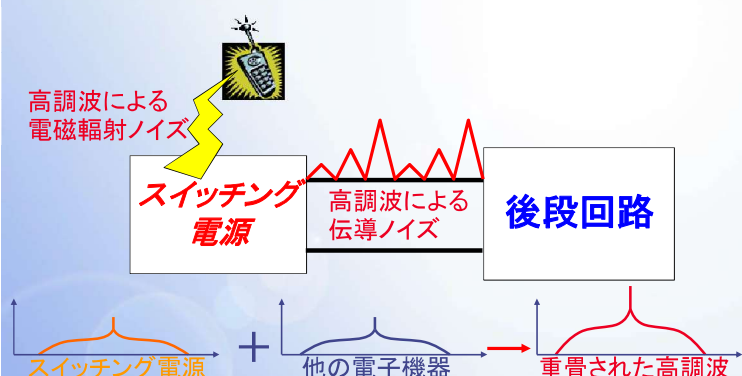
EMI(ElectroMagnetic Interference)とは



EMCが問題にされる場合

- ◆EMS(電磁波感受性):
微小信号を扱っている電子機器
(携帯電話、テレビ、オーディオ など)
- ◆EMI(電磁波妨害):
高調波ノイズや電磁波を発しやすい電子機器
(スイッチング電源、マイクロプロセッサ など)

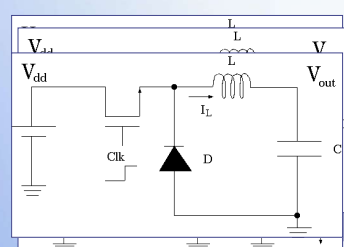
スイッチング電源によるEMIの影響



発表内容

1. 研究背景と目的
2. DC-DC変換回路の原理と特徴
3. DC-DC変換回路におけるノイズパワー・スペクトラム
拡散方式「Pseudo Random digital Modulation」
PRM方式の提案
4. PRM方式の特徴と効果
5. 結論

DC-DC変換回路の原理と特徴(1)



◆Clk=ONのとき

$$\Delta I_L = \frac{V_{dd} - V_{out}}{L} \cdot T_{on}$$

◆Clk=OFFのとき

$$\Delta I_L = -\frac{V_{out}}{L} \cdot T_{off}$$

ONのときの電流の変化量=OFFのときの電流の変化量

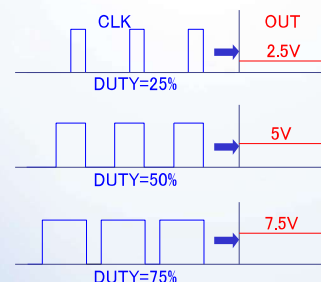
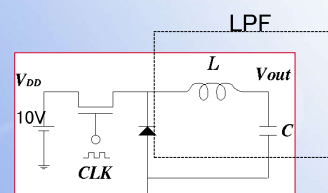
$$V_{out} = \frac{T_{on}}{T} \cdot V_{dd}$$

T;クロック周期

出力電圧はクロックデューティ(比率)によって決定

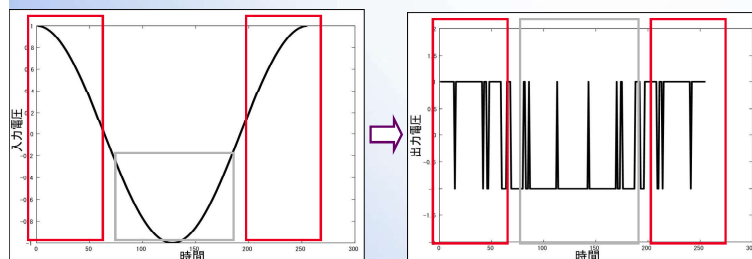
DC-DC変換回路の原理と特徴(2)

- ・入力電源電圧Vdd
- ・CLKでスイッチング
- ・LCローパス・フィルタ(LPF)で平滑化
- ・出力電源電圧Vout



PWM(パルス幅変調)制御方式

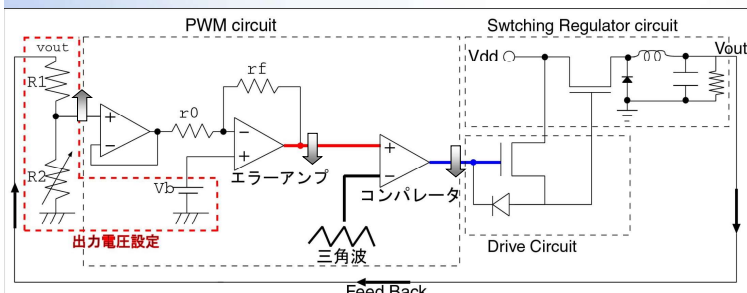
DC-DC電源回路の
駆動クロックデューティ(比率)を変調



PWM入力信号

PWM出力信号

PWM制御方式を用いたDC-DC変換回路



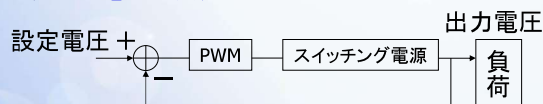
PWM制御 の特徴

メリット

- ◆ スイッチでON/OFF
- ⇒ 電力効率が良い

- ◆ 帰還制御

- ⇒ 負荷によらず出力電圧が安定

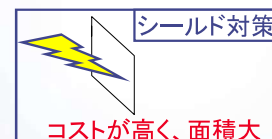
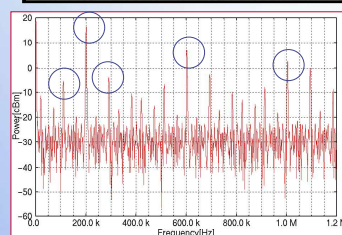


デメリット

- ◆ 電源周波数に同期
- ◆ 矩形波を発生

- ⇒ 高調波ノイズが特定周波数に集中
- ⇒ 高調波ノイズが大きい

DC-DC変換回路の特徴と現状のまとめ



EMI(電磁妨害)規格を満たすために
シールド等による対策が必要

EMI規格を満たす回路を提案

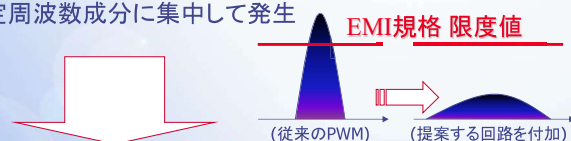
発表内容

1. 研究背景と目的
2. DC-DC変換回路の原理と特徴
3. DC-DC変換回路におけるノイズパワー・スペクトラム
拡散方式「Pseudo Random digital
Modulation」
PRM方式の提案
4. PRM方式の特徴と効果
5. 結論

今回提案するスイッチング方式

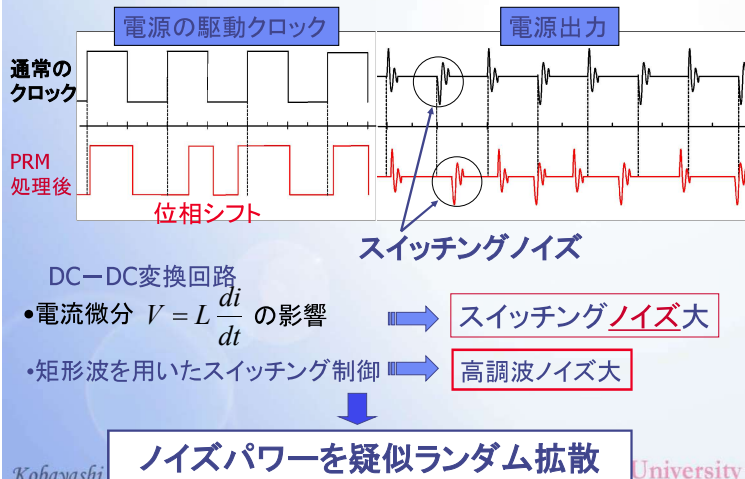
従来DC-DC変換回路 + デジタル制御回路の付加

スイッチングノイズパワー・高調波ノイズパワーが
特定周波数成分に集中して発生



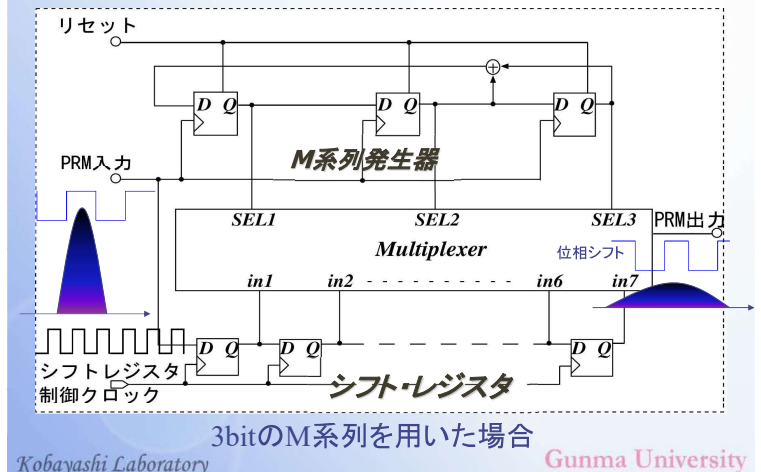
高調波ノイズパワーとスイッチングノイズパワーの
周波数成分を拡散しEMIの低減を実現

提案する疑似ランダム変調(PRM)の原理



Kobayashi University

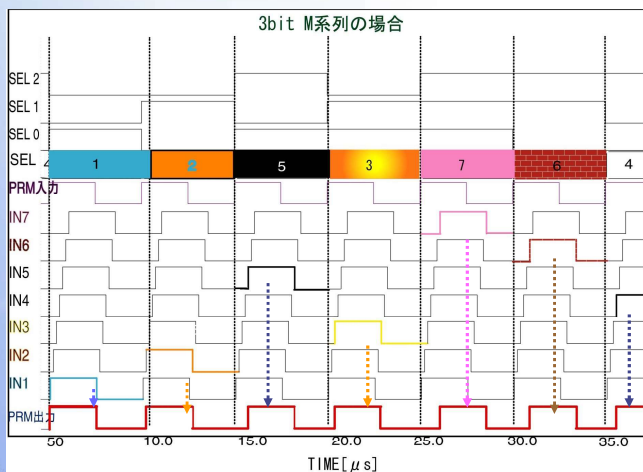
疑似ランダム変調PRM回路の提案



Kobayashi Laboratory

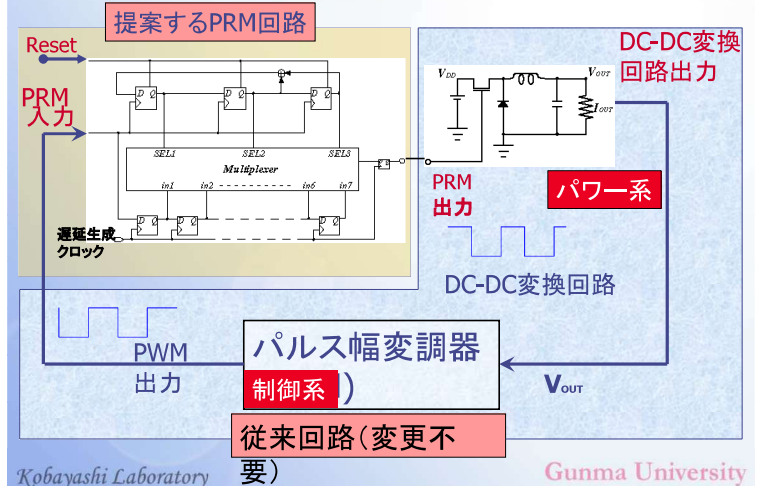
Gunma University

PRMタイミングチャート



Kobayashi University

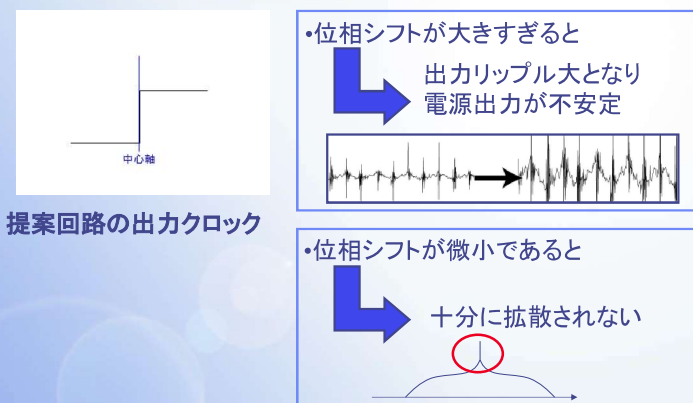
PRMを用いたDC-DC変換回路の構成



Kobayashi Laboratory

Gunma University

位相シフト量の最適値(1)



位相シフト量の最適値を実測により算出

Kobayashi Laboratory

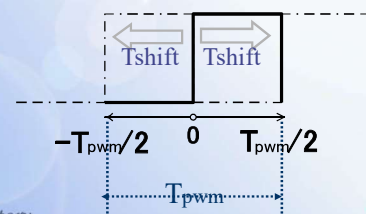
Gunma University

位相シフト量の最適値(2)

実測結果から得られた最大位相シフト量 T_{shift} の最適値は

$$T_{shift} = \frac{T_{pwm}}{2}$$

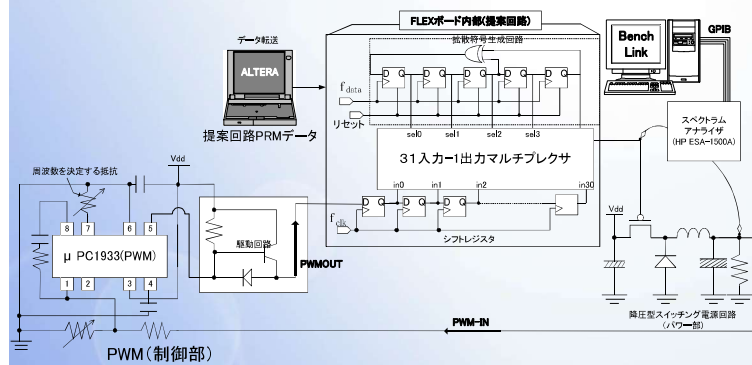
T_{pwm} = PWMクロックの一周期



Kobayashi Laboratory

Gunma University

試作・評価環境



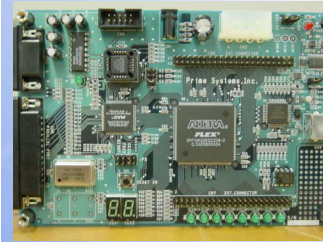
Kobayashi Laboratory

Gunma University

FPGA設計環境と設計仕様

使用した評価ボード

テクノロジー:FLEX10K30EQC208 -3
(アルテラ社)



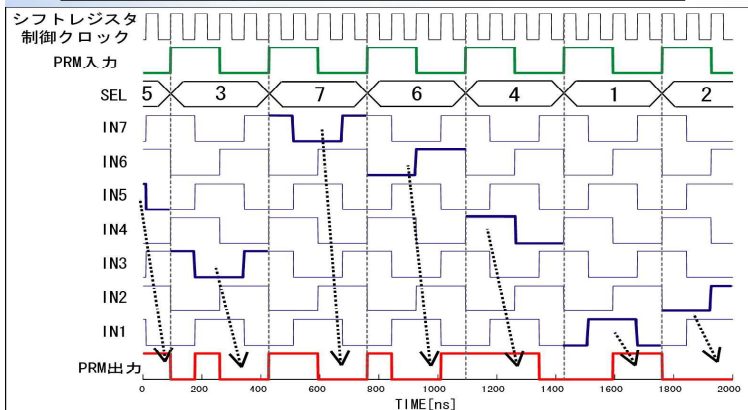
Kobayashi Laboratory

設計仕様

項目	仕様
スペクトラム拡散方式	直接拡散
シフトレジスタ制御クロック	6MHz
PWM入力	187kHz
PN符号制御クロック	187kHz
電源電圧	3.3V
PN符号	M系列
符号長	31
DDFの数	37

Gunma University

提案するPRMタイミングチャート(実測)

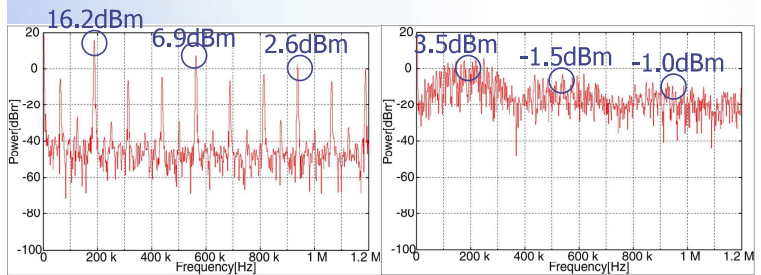


ロジックアナライザを用いて実測上で確認

Kobayashi Laboratory

Gunma University

駆動クロックの実測パワースペクトラム



通常のクロックの
パワースペクトラム

(従来)

5bitM系列PRM出力クロックの
パワースペクトラム

(新手法)

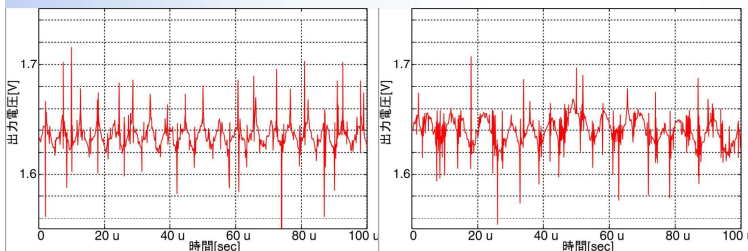
最大ピーク12.7dBm減少

Kobayashi Laboratory

Gunma University

DC-DC変換回路出力電圧波形

入力電圧Vdd=3.3 クロックデューティ=50%



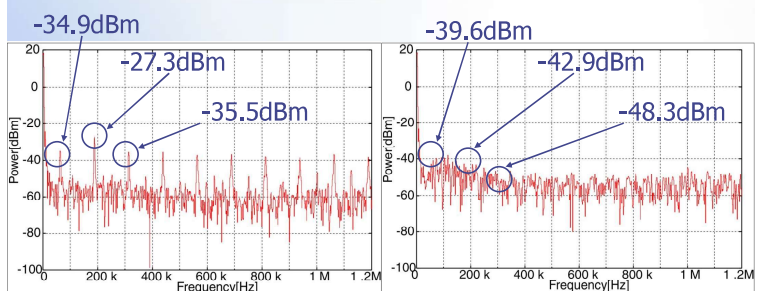
通常のクロックを用いた場合
(従来)

提案するPRMを用いた場合
(新手法)

Kobayashi Laboratory

Gunma University

DC-DC変換回路 実測パワースペクトラム



通常のクロックによる
パワースペクトラム
(従来)

5bitM系列PRMによる
パワースペクトラム
(新手法)

最大ピーク12.3dBm低減

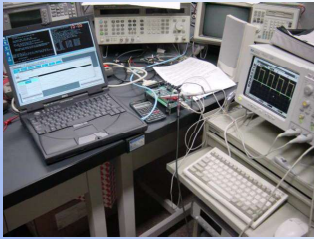
Kobayashi Laboratory

Gunma University

提案するPRMの試作

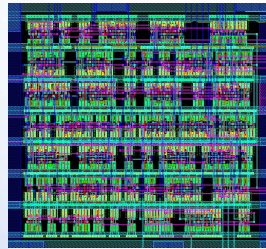
FPGA設計

- ALTERAツールで設計
- FPGA評価ボードによる計測



セミカスタム設計

- VDECツールで設計
- セルレイアウト設計



二つの手法で設計

Kobayashi Laboratory

Gunma University

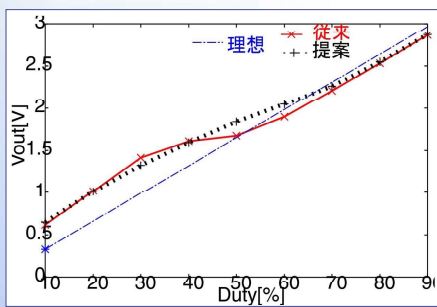
発表内容

1. 研究背景と目的
2. DC-DC変換回路の原理と特徴
3. DC-DC変換回路におけるノイズパワー・スペクトラム拡散方式「Pseudo Random digital Modulation」
PRM方式の提案
4. PRM方式の特徴と効果
5. 結論

Kobayashi Laboratory

Gunma University

クロックデューティー出力電圧特性



理想の出力電圧にほぼ一致

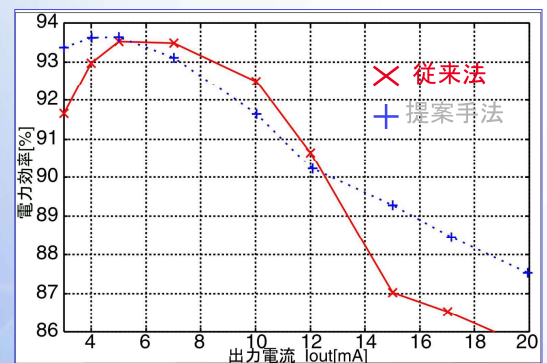


提案回路の変調による出力電圧への影響はほとんど無い

Kobayashi Laboratory

Gunma University

効率特性への影響

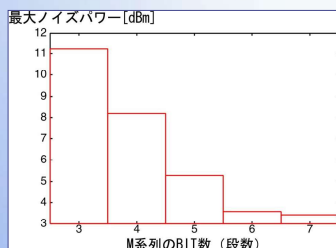


提案回路による効率への影響はほとんど無い

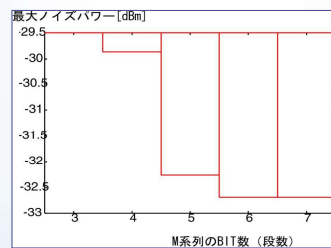
Kobayashi Laboratory

Gunma University

最大ノイズパワー - M系列のBIT数 特性



駆動クロックの最大ノイズピーク



電源出力の最大ノイズピーク

拡散度・回路規模の面から5,6bit が妥当

Kobayashi Laboratory

Gunma University

結論

- ◆ DC-DC変換回路のノイズパワー・スペクトラム拡散技術を提案
 - 簡単なデジタル回路付加でEMI低減を実現
 - ー 低コスト、低消費電力
 - ー 温度変化、経時変化の影響なし
 - 従来回路の設計変更不要
 - 昇圧型スイッチング電源にも適用可

FPGAで試作し
実測上で動作確認をした

最大ピーク	12.3dBm減
基本波	5.7dBm 減
2次高調波	15.6dBm 減
3次高調波	12.8dBm 減

Kobayashi Laboratory

Gunma University