



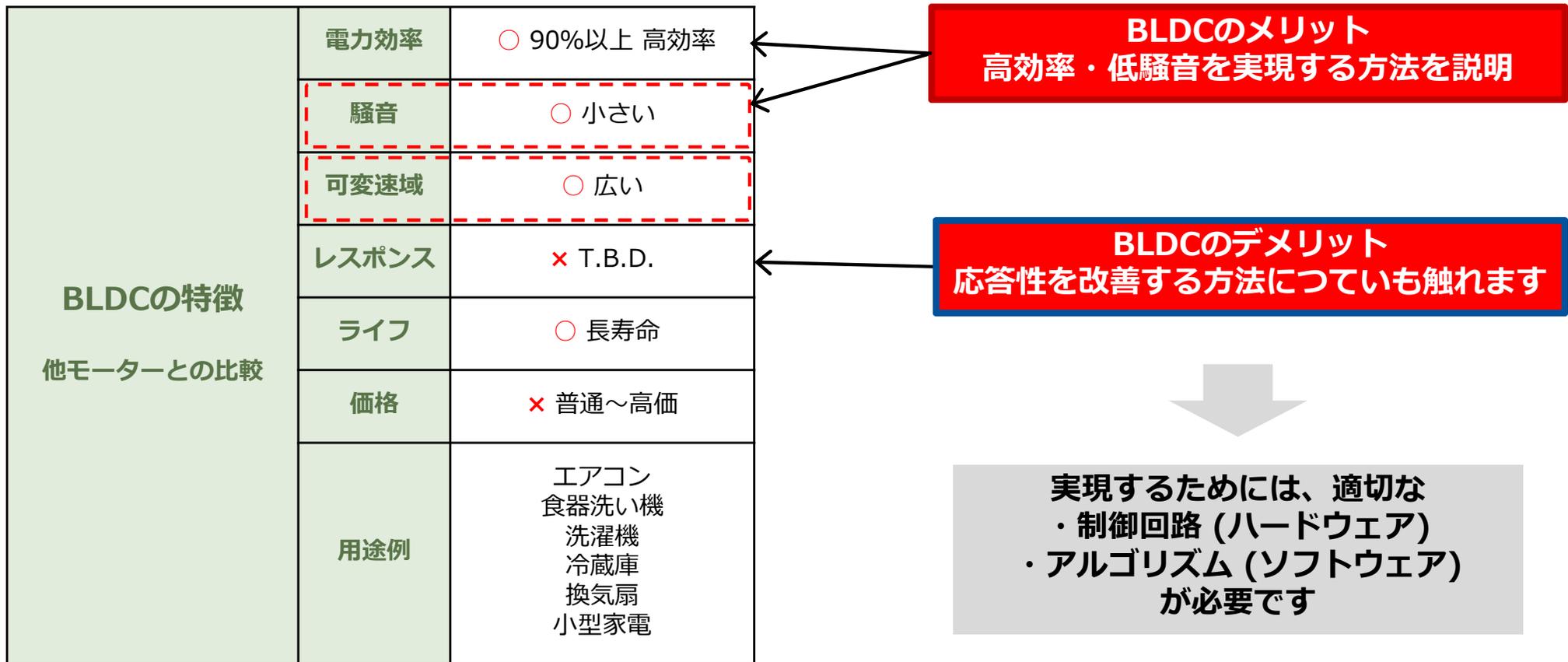
BLDCモーター 実践編

2020年2月20日
Ver1.0

当資料は、下記についてまとめています。

1. BLDC制御の実際
2. インフィニオン社 iMOTION製品の紹介
3. インフィニオン社 iMOTIONによるモーター制御
4. モーター駆動実験

「BLDC = ブラシレスDCモーター」は、
電極ブラシがないので電極の摩耗がなくなり、モーターのメカ寿命が格段に伸びます。
さらに、電力効率を高め、低騒音でモーターを回すことが可能です。



BLDCモーターをスムーズに回すためには、

① **ローター回転位置**に同調してタイミング良く② **コイルへ電流を流す**必要があります。

① ローター回転位置を知る方法

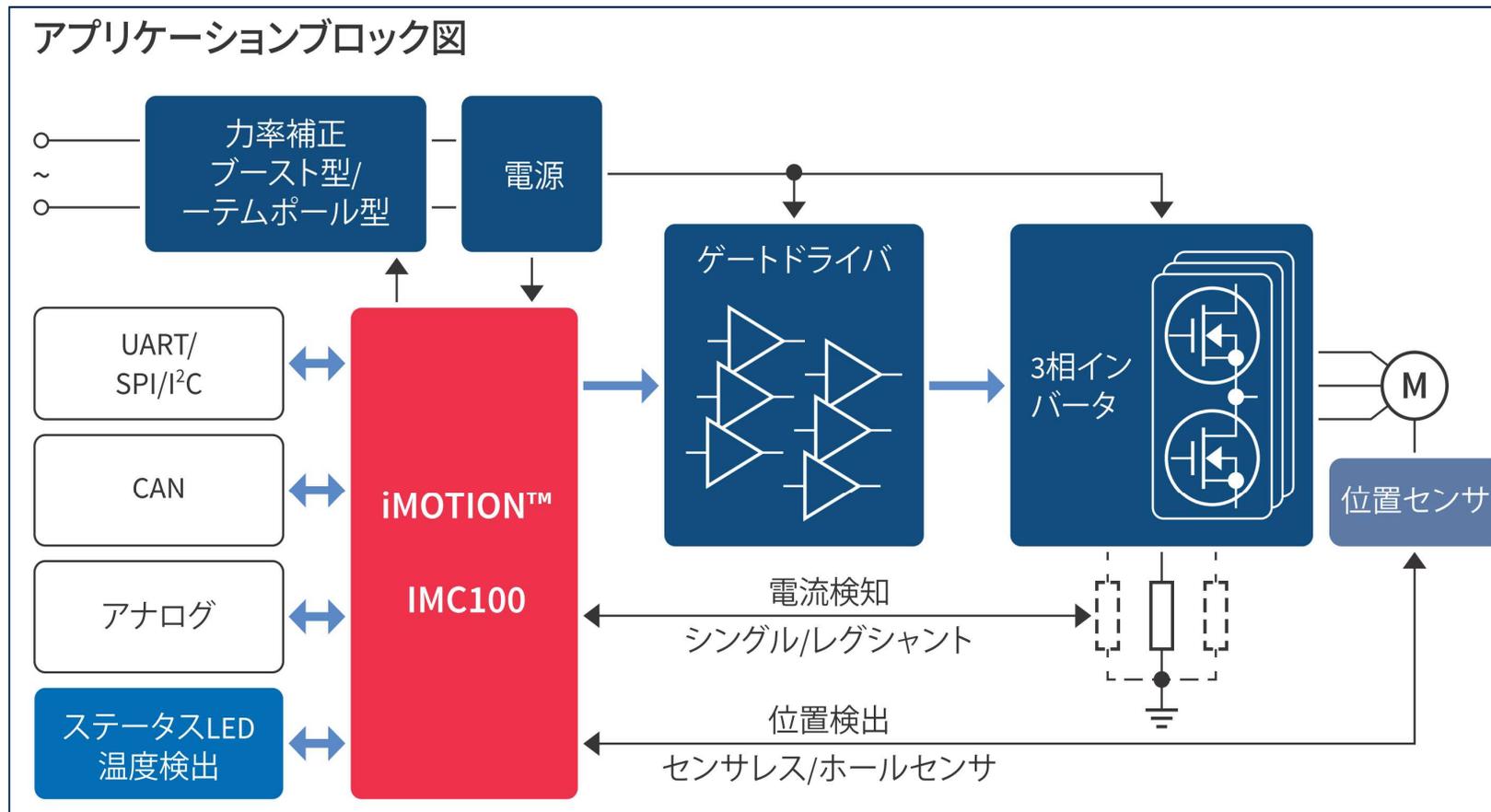
1. 磁気センサーなどを使って位置を測定し、ローター位置を特定する
2. モーター電流を測定し、ローター位置を推定する (センサーレス) ←トレンド

② コイルへ電流を流す駆動方式

1. 矩形波状の電流を流す (120度通電)
2. 正弦波状の電流を流す (180度通電) ←トレンド

コスト低減と低騒音・低振動のため、
■ 磁気センサーなどを使わないセンサーレス
■ 正弦波駆動(180度通電)
がトレンドです。

インフィニオン社では、
BLDCモーター制御用ICをリリースしています。
それが、**iMOTIONシリーズ(アイモーション)**です。
iMOTIONのICを使うことで、センサーレスで正弦波駆動によるBLDC制御が可能です。



iMOTION IMC100 高性能なモーター制御ICシリーズ
Infineon-IMC100 iMOTION_JP-PB-v01_00-JA.pdf
https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IMC100%20iMOTION_JP-PB-v01_00-JA.pdf?fileId=5546d46261764359016198ba72811543

iMOTIONの優位性は、
「すぐに使える可変速駆動用ソリューション」
です。(右記の通り)
マイコンの様なプログラミングは不要で、
モーター制御に必要なADCやコンパレータを内蔵しているので、
制御基板を最小限の部品点数で実装できます。

インフィニオン社ホームページ(日本語)

<https://www.infineon.com/cms/jp/product/power/motor-control-ics/digital-motor-controller-imotion/>
では、iMOTIONの製品情報の他、評価ボードやパワー素子選定ガイドなどの技術資料を提供しています。



iMOTION IMC100 高性能なモーター制御ICシリーズ
Infineon-IMC100 iMOTION_JP-PB-v01_00-JA.pdf
https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IMC100%20iMOTION_JP-PB-v01_00-JA.pdf?fileId=5546d46261764359016198ba72811543

主な特長

永久磁石同期電動機 (PMSM) のセンサレス磁界方向制御 (FOC)を利用した、すぐに使える可変速駆動用ソリューション。

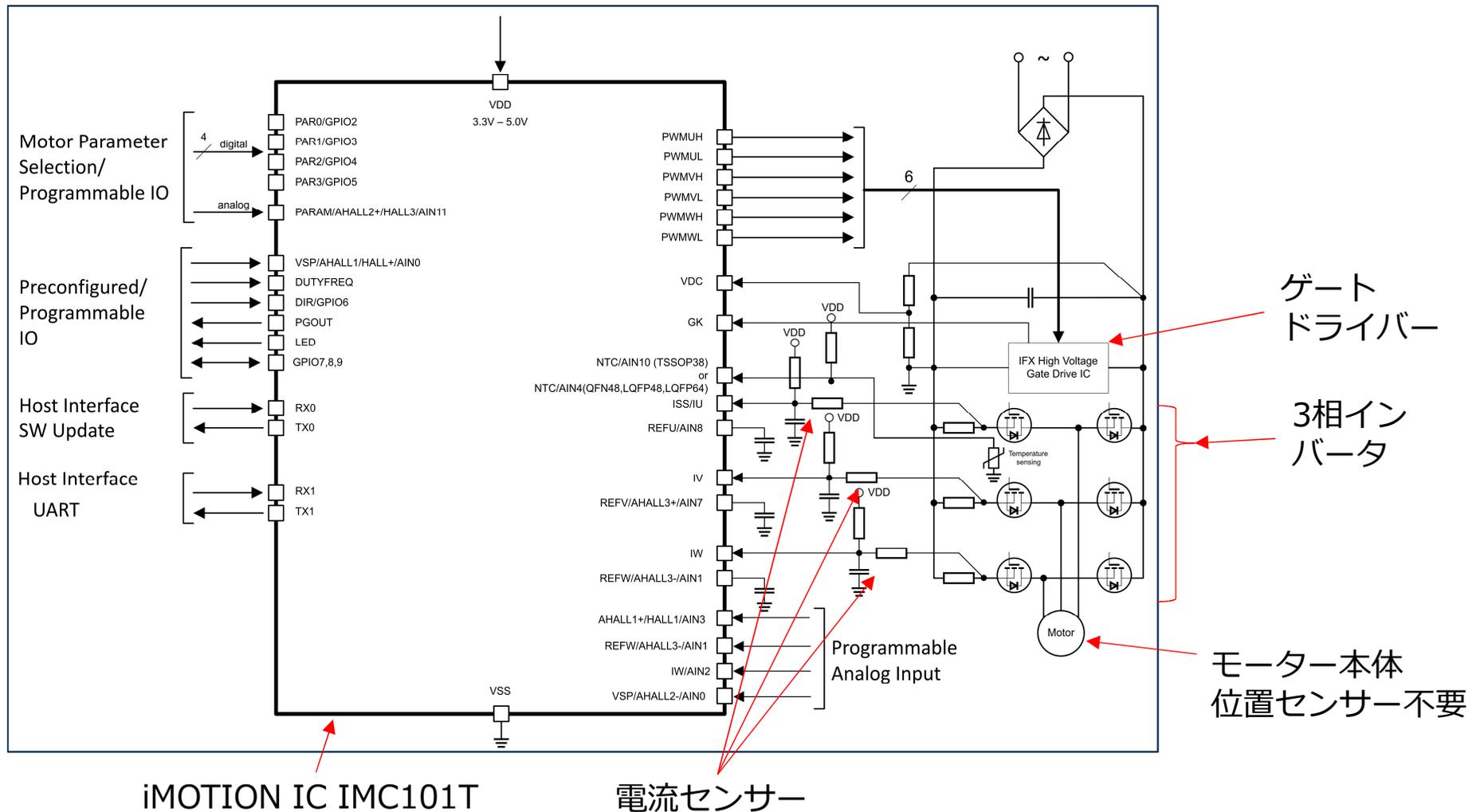
お客様の利点

- ▶ 市場投入時間の短縮
 - プログラミング不要
 - モータのパラメータ設定および調整が容易
- ▶ 部品コスト削減
 - 内蔵ADCおよびコンパレータ
 - センサレスFOCアルゴリズム (ホールセンサはオプション)
 - 内蔵発振器
- ▶ 保護機能搭載
- ▶ 実績のあるモーター制御エンジン (MCE 2.0) の新世代エンジン
 - シングルもしくはレグシャント
 - オプションでホールセンサ/エンコーダ対応
 - ブースト型もしくはトータムポール型PFC
 - フレキシブルなホストインターフェースオプション
 - IEC 60335 (クラスB) 対応
- ▶ 複数パッケージオプション

ここでは、iMOTIONを使ってセンサーレスでBLDCを回してみます。
実装イメージは下記のブロック図の通りです。

センサーレスのモーター駆動ブロック図

iMOTION IMC100データシート v1.3 2019-02-14
Infineon-IMC100-DS-v01_03-EN.pdf



NEXTY Electronics Confidential

【目的】

インフィニオン社の評価ボードを使用し、モータを回します。
所要時間は約1時間です。

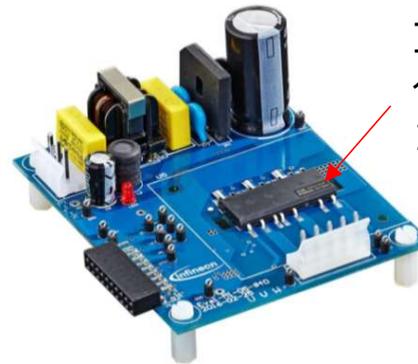
【手順】

- ① iMOTIONソフトウェアツールのインストール
- ② ハードウェア接続 下記の2つの評価ボードを使用します
- ③ “MCEWizard”でシステム構成の設定とモータの設定を行う
- ④ “MCEDesigner”でICのパラメータ設定とモーター回転
- ⑤ モータ制御のチューニングのため③⇔④を繰り返す

次ページに概略説明があります



■コントローラIC IMC101T-T03
Eval-M1-101T (2018-01-23)
USBデバッグ機能搭載



IPM (インテリジェントパワーモジュール)
ゲートドライバとMOSFETが
1パッケージになっています

■パワーボード
EVAL-M1-05-84D
IRSM505-084
入力： AC 90～140V / DC 45～200V
20～150W センサレス3相モータ

iMOTIONでは、モーターチューニングツールとして、
2つのソフトウェアをリリースしています。

1. MCEWizard モーター制御に必要なパラメータを入力します
 - モーターの特性
 - 制御基板の定数
 - モーター回転仕様
 - フェールセーフ設定
 - Script機能の設定
2. MCEDesigner モーターの駆動実験、状態観測を行います
 - デバッガ(iMOTION LINK)を使用します
 - ICへのパラメータ書込み
 - ICの詳細レジスタ値の書込み・読み出し
 - モーター駆動状態の把握
 - FOC制御ループの状態記録、グラフ表示

ソフトウェアツールのインストールがまだの場合は、
次のページに沿ってインストール作業を行ってください。

iMOTIONのソフトウェアツールをインストールします。

<<<https://www.infineon.com/cms/jp/product/power/motor-control-ics/digital-motor-controller-imotion/>>>

「MCEDesigner v2.2」と「MCEWizard v2.2」をクリックしダウンロードしてください。
最新版があればそちらをインストールしてください。

最新版は v2.2 です。(2020年2月3日)

> Home > 製品 > パワー > モーターコントロール IC > Digital Motor Controller (iMOTION™)

概要

製品

ハイライト

詳細

技術資料他

ボード

● ソフトウェア&ツール

ビデオ

サポート

MCEDesigner v2.0 > EN
02_00 | 2018-02-06 | zip | 13.3 MB

MCEDesigner v2.1.1 > EN
02_01 | 2018-11-26 | exe | 14.3 MB

MCEDesigner v2.2 > EN
02_02 | 2019-06-21 | exe | 18.4 MB

MCEWizard v2.0 > EN
02_00 | 2018-02-06 | zip | 22.5 MB

MCEWizard v2.1.1 > EN
02_01 | 2018-11-26 | exe | 18.5 MB

MCEWizard v2.2 > EN
02_02 | 2019-06-21 | exe | 23.6 MB

ダウンロード後、実行ファイルのバイト数を確認のうえ(正常にダウンロードできたか確認)、インストールを実行してください。

名前	日付時刻	種類	サイズ
Infineon-MCEWizard-Software-v02_02-EN.exe	2020/02/03 16:48	アプリケーション	24,137 KB
Infineon-MCE_Designer-Software-v02_02-EN.exe	2020/02/03 16:48	アプリケーション	18,795 KB

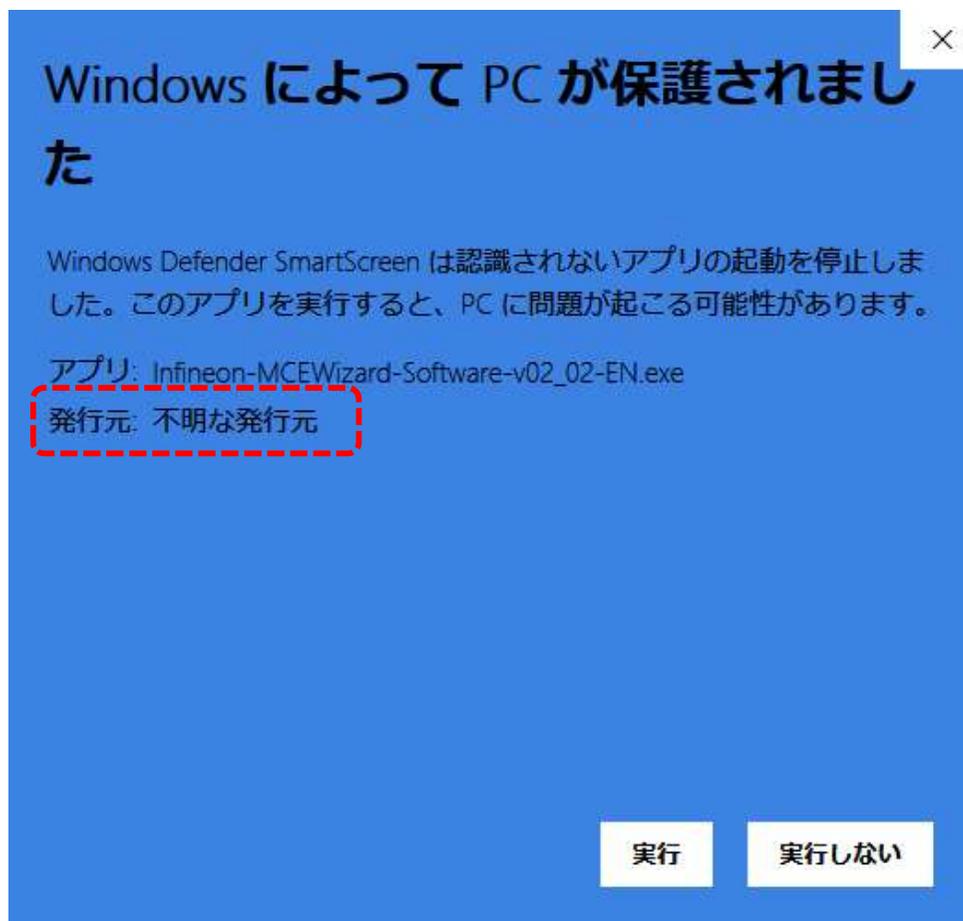
MCEWizardのインストール画面



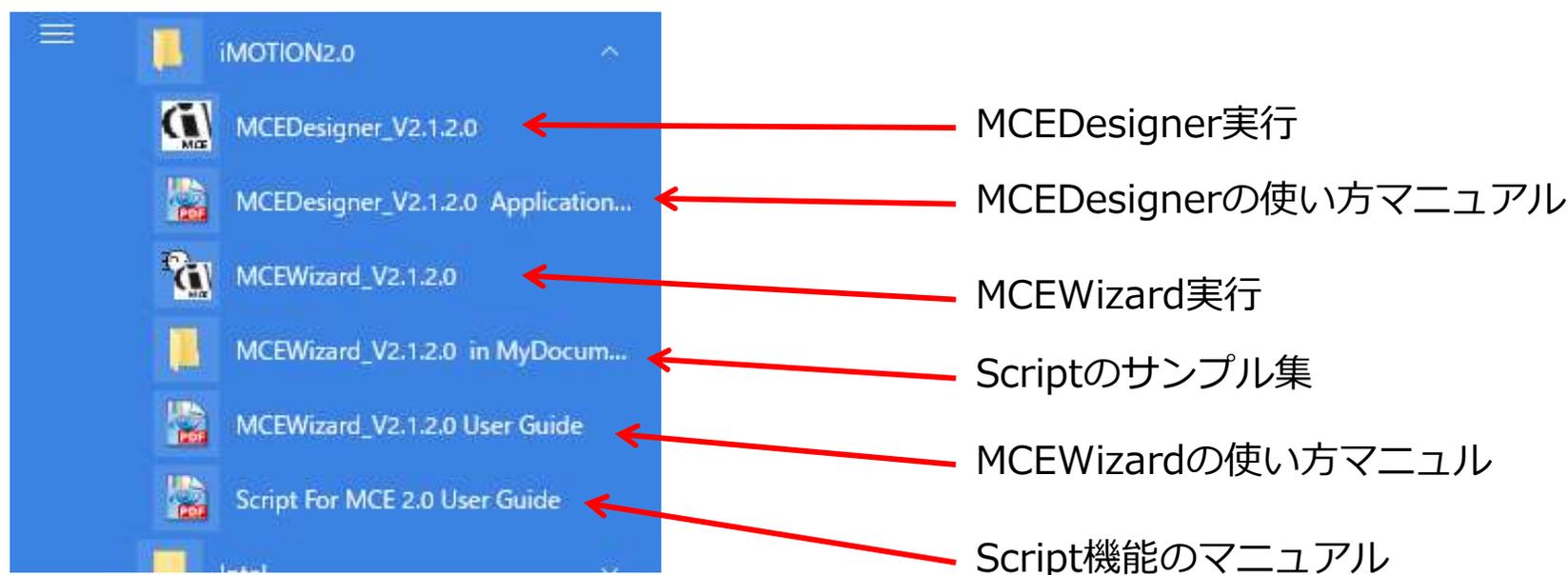
MCEDesignerのインストール画面



インストール中、セキュリティソフト等のチェックが入る場合があります。
「不明な発行元」が原因と思います。
今回は、公式のインフィニオン社ホームページからダウンロードしていますので、
問題なしと考えて、インストール作業を続けます。



インストール完了後、
Windowsスタートメニューに“iMotion2.0”フォルダが作成されます。



これで、ソフトウェアツールのインストールは完了です

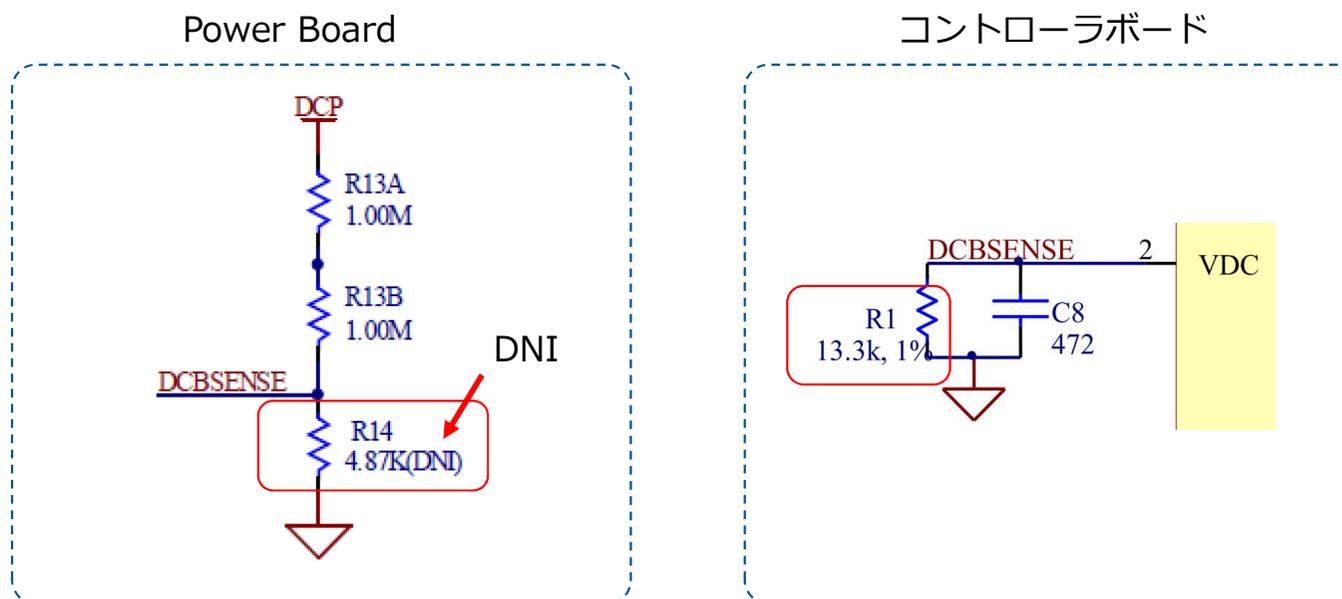
■ 主電源

AC、DCのどちらでも使用できます。J1コネクタの接続は下記Table5の通りです。
(今回は、AC100で実験)

S. No.	Pin	Details
1	E	Earth ground
2	L	AC line input (120 V - 240 V) or DC+ connector
3	N	AC neutral input or DC- connector

■ DC-BUS電圧センシングのLow側抵抗

Power Board初期時、DC SenseのLow側抵抗 R14は未実装(DNI)です。
コントローラボードにR1=13.3k Ω が実装されており、R14は未実装のまま問題ありません。

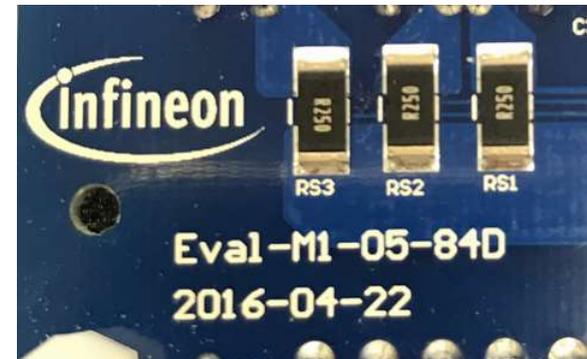


■ シヤントの構成と抵抗値

Power Board初期時、Legシヤント(3シヤント)が実装されています。
抵抗値はR250(250mΩ)です。

シングルシヤントへ改造することが可能です。
改造手順はマニュアルに記載の通り、

- 1) RS1 and RS3 have to be removed
- 2) IU+,IV+,IW+ have to be connected
- 3) R7 has to be changed to 3.48 kΩ



Legシヤント(3シヤント)

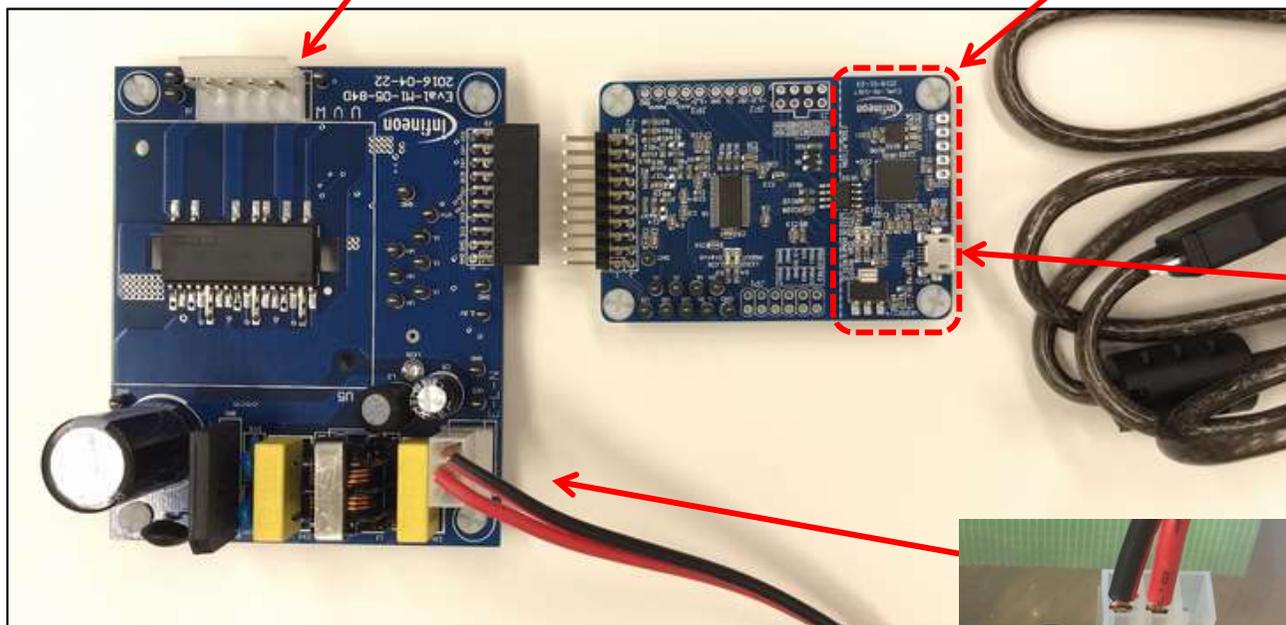
ここでは、改造せずにLegシヤントで進めます。

ハードウェアの接続を行います

3相モーターのコネクタ

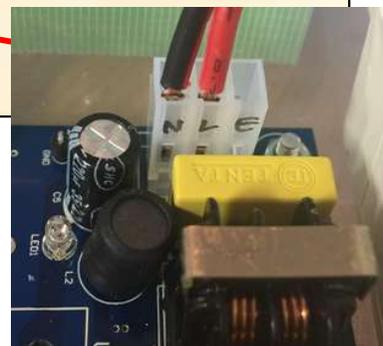


デバッガ機能を搭載しています。
(デバッガiMOTION LINKは不要です)



Eval-M1-101TのUSBコネクタ
にPCを接続します。
PC側とモーター側の電源は絶縁
されています。

電源コネクタ

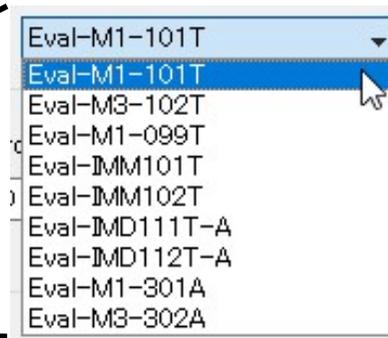
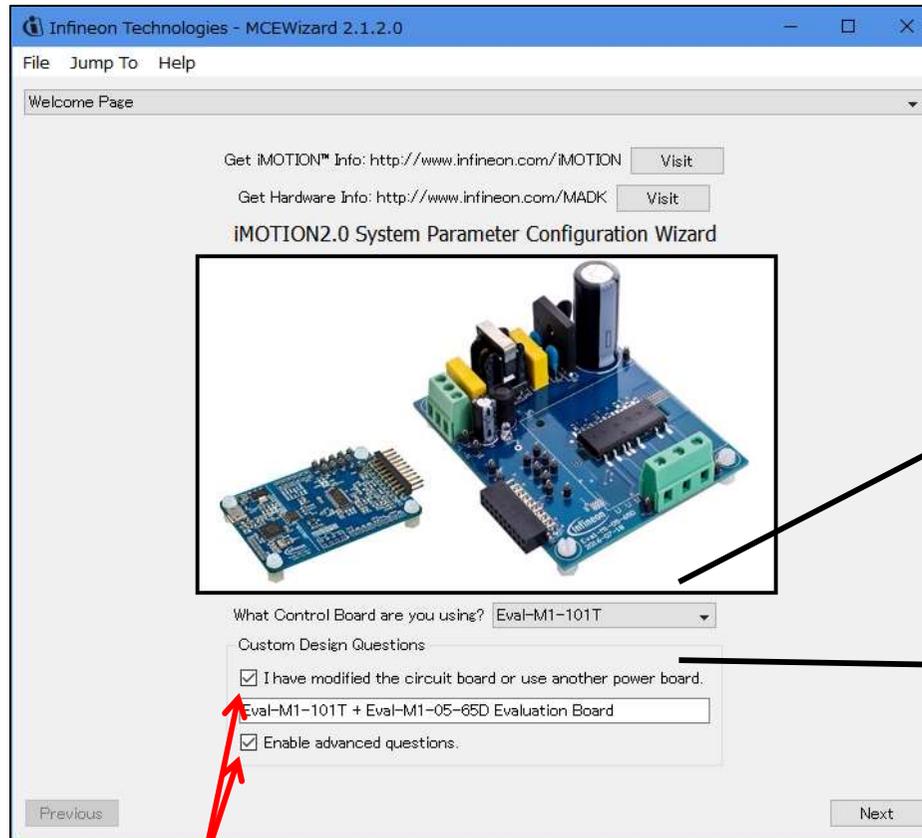


【ソフトウェア設定手順】

1. PCで“MCEWizard”を起動
2. “MCEWizard”でパワーボードとモータのパラメータ設定を行い、
.txt(パラメータファイル)を生成
3. PCで“MCEDesigner”を起動
4. “MCEDesigner”でコントローラICへファームウェア(.ldfファイル)を書き込む
5. .txt(パラメータファイル)を書き込む
6. “Start Motor”コマンドでモータ始動
7. うまく回転しない場合、手順「2、5、6」を繰り返す = チューニング作業

MCEWizardでパラメータ入力

“MCEWizard”を起動

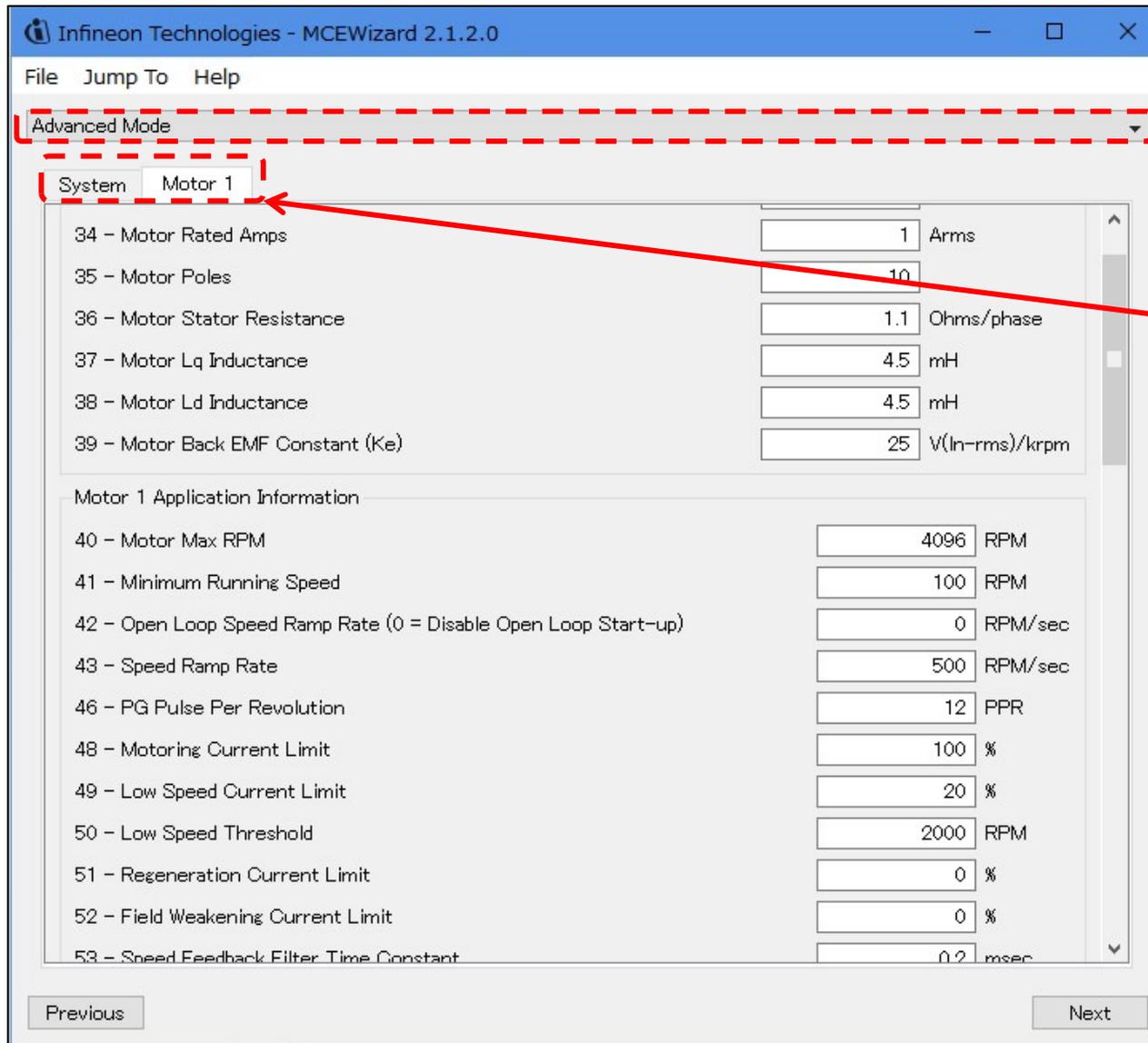


Eval-M1-101Tを選択してください

シャント抵抗値とアンプ正逆設定など、
詳細設定のためここをチェックしてください。
グレー項目(デフォルト設定)が変更可能になります。

MCEWizardでパラメータ入力

MCEWizardの画面構成

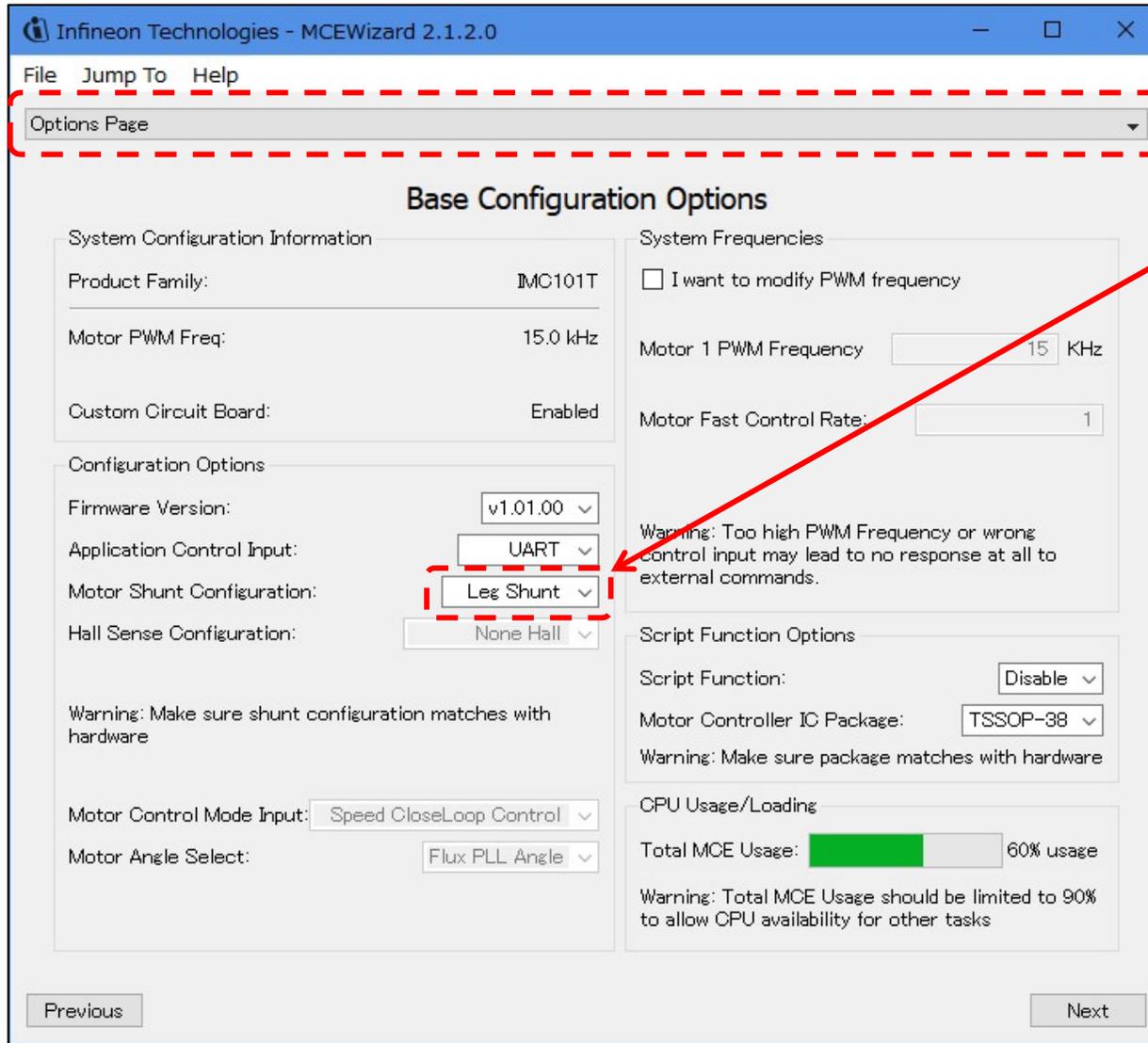


プルダウンメニューで
“Advanced Mode”を選択すると、
パラメータ一覧の設定画面になります。

“System”設定と“Motor”設定にカ
テゴリが分かれています。
タブ操作で切り替えます。

MCEWizardでパラメータ入力

MCEWizardでの基本チェック項目



Infineon Technologies - MCEWizard 2.1.2.0

File Jump To Help

Options Page

Base Configuration Options

System Configuration Information

Product Family: IMC101T

Motor PWM Freq: 15.0 kHz

Custom Circuit Board: Enabled

Configuration Options

Firmware Version: v1.01.00

Application Control Input: UART

Motor Shunt Configuration: Leg Shunt

Hall Sense Configuration: None Hall

Warning: Make sure shunt configuration matches with hardware

Motor Control Mode Input: Speed CloseLoop Control

Motor Angle Select: Flux PLL Angle

System Frequencies

I want to modify PWM frequency

Motor 1 PWM Frequency: 15 KHz

Motor Fast Control Rate: 1

Warning: Too high PWM Frequency or wrong control input may lead to no response at all to external commands.

Script Function Options

Script Function: Disable

Motor Controller IC Package: TSSOP-38

Warning: Make sure package matches with hardware

CPU Usage/Loading

Total MCE Usage: 60% usage

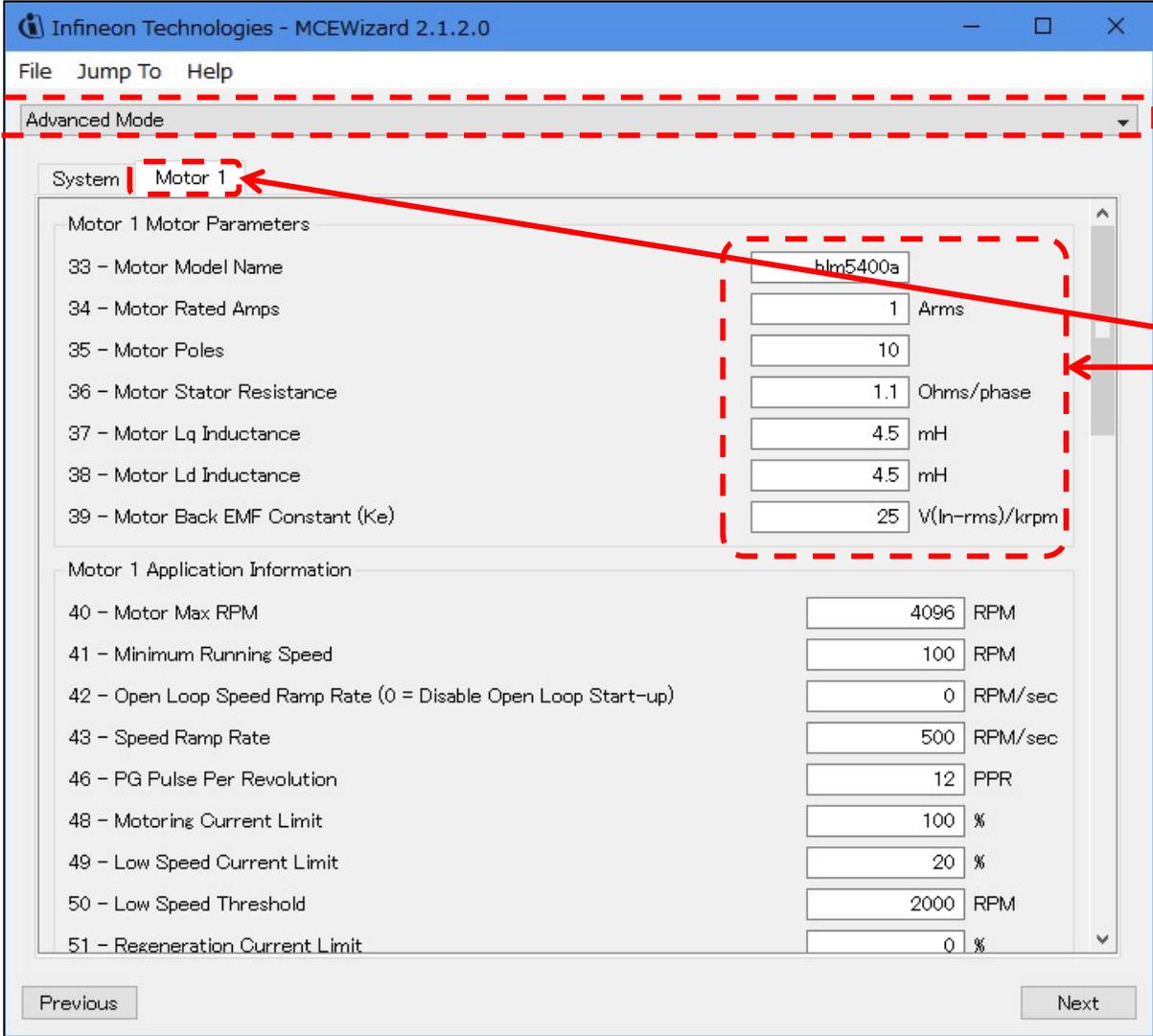
Warning: Total MCE Usage should be limited to 90% to allow CPU availability for other tasks

Previous Next

“Option Page”プルダウンで、“Leg Shunt”になっていることを確認します

MCEWizardでパラメータ入力

モータの特性(電流、ロータポール数、インピーダンス、最大・最小回転数)は必須です。



The screenshot shows the MCEWizard 2.1.2.0 software interface. The window title is "Infineon Technologies - MCEWizard 2.1.2.0". The menu bar includes "File", "Jump To", and "Help". The "Advanced Mode" tab is selected. The "System" tab is active, and "Motor 1" is selected. The "Motor 1 Motor Parameters" section is expanded, showing the following parameters:

Parameter ID	Parameter Name	Value	Unit
33	Motor Model Name	hlm5400a	
34	Motor Rated Amps	1	Arms
35	Motor Poles	10	
36	Motor Stator Resistance	1.1	Ohms/phase
37	Motor Lq Inductance	4.5	mH
38	Motor Ld Inductance	4.5	mH
39	Motor Back EMF Constant (Ke)	25	V(ln-rms)/krpm

The "Motor 1 Application Information" section is also expanded, showing the following parameters:

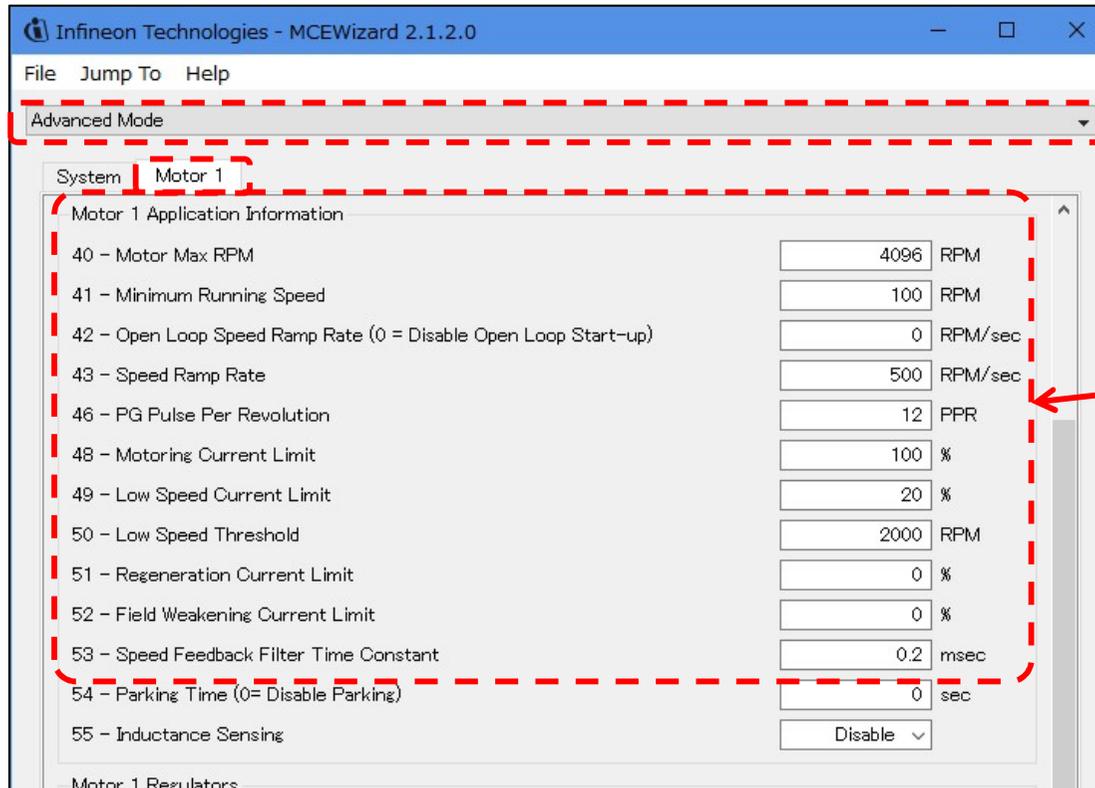
Parameter ID	Parameter Name	Value	Unit
40	Motor Max RPM	4096	RPM
41	Minimum Running Speed	100	RPM
42	Open Loop Speed Ramp Rate (0 = Disable Open Loop Start-up)	0	RPM/sec
43	Speed Ramp Rate	500	RPM/sec
46	PG Pulse Per Revolution	12	PPR
48	Motoring Current Limit	100	%
49	Low Speed Current Limit	20	%
50	Low Speed Threshold	2000	RPM
51	Regeneration Current Limit	0	%

Red dashed boxes highlight the "Motor 1" tab and the "Motor 1 Motor Parameters" section. Red arrows point from the text "モータの基本設定" to the "Motor 1" tab and the "Motor 1 Motor Parameters" section.

モータの基本設定

MCEWizardでパラメータ入力

回転速度関係のパラメータを設定します。

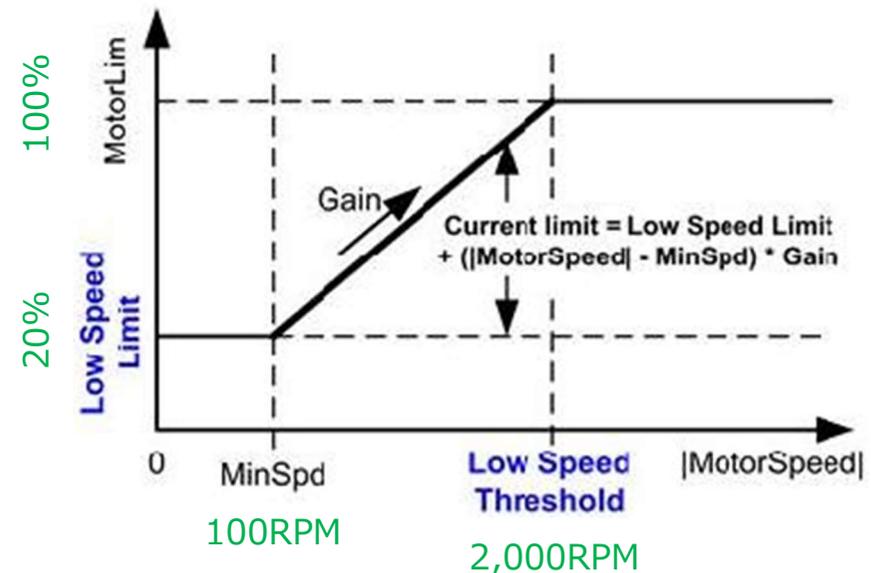


回転速度に関するパラメータ

MCEWizardでパラメータ入力

(参考) 回転速度の仕様設定

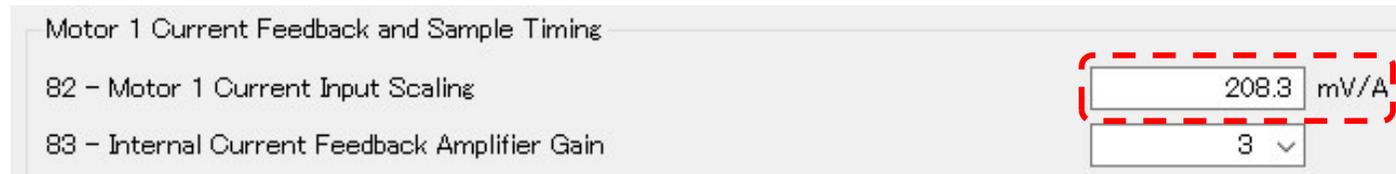
MCEWizard	MCEDesigner	
Motor Max RPM	4,096RPM	16,384
	3,000RPM	12,000
	要求回転数	TargetSpeed の設定範囲
	300RPM	1,200
Minimum Running Speed	100RPM	400



MCEWizardでパラメータ入力

シャント抵抗の抵抗値に基づいて、電流スケールリング値は正しく入力してください。
誤った設定により過電流が発生し、評価ボードを破損しかねません。十分にご確認下さい。

【確認】



Motor 1 Current Feedback and Sample Timing

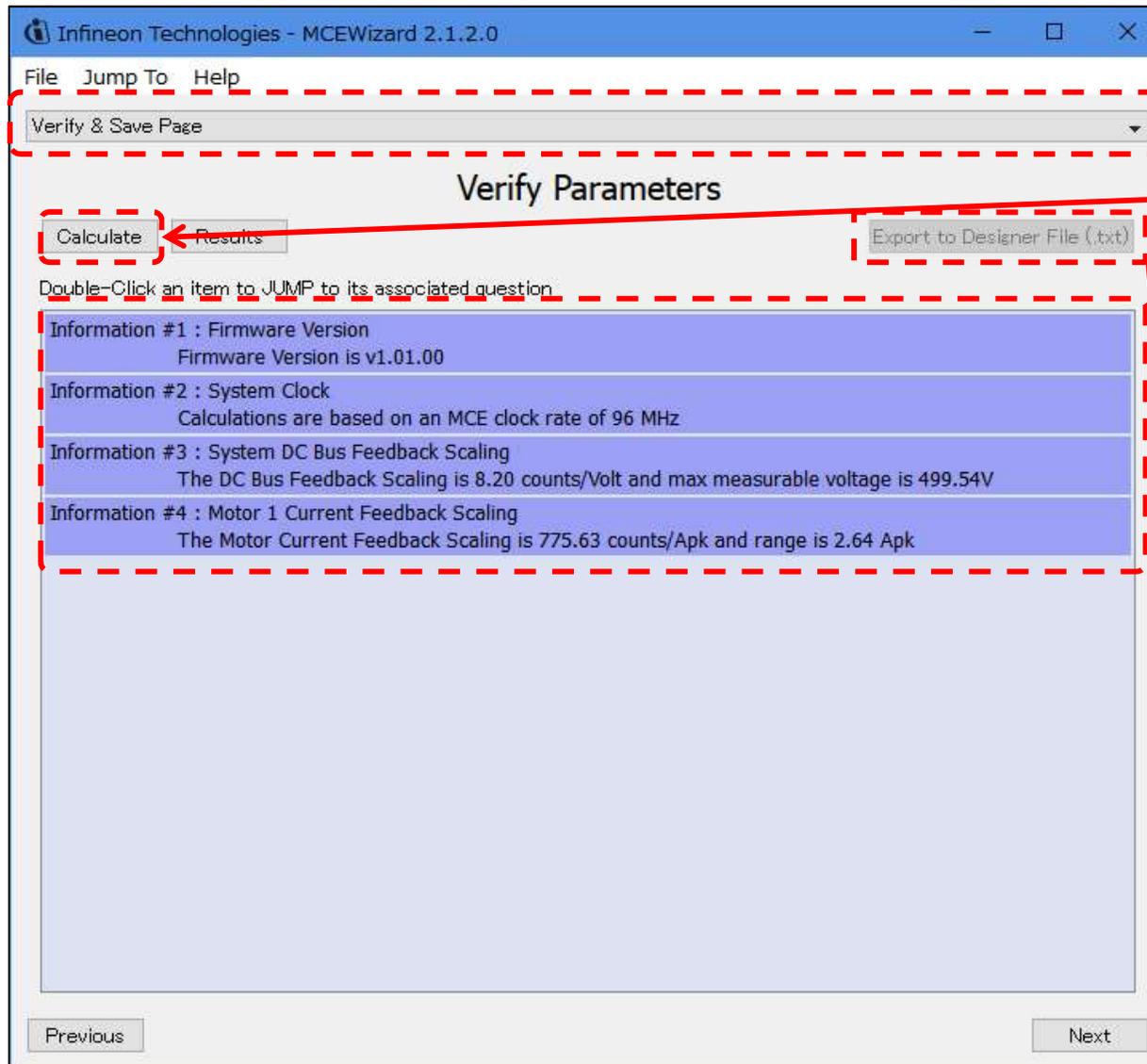
82 - Motor 1 Current Input Scaling mV/A

83 - Internal Current Feedback Amplifier Gain ▾

「シャント抵抗値」と「増幅回路」により、入力値が決まります。
EVAL-M1-05-84Dのデフォルトは、
Leg shunt 250mΩ
↓
Eval-M1-101Tの増幅回路デフォルト設定は、
R6 = 10kΩ
R7 = 2kΩ
↓
208.3mV/Aがデフォルト値です。

MCEWizardでパラメータ入力

設定入力の検証、ファイルへの保存



パラメータ入力が終わった後、
“Verify & Save Page”を選び、

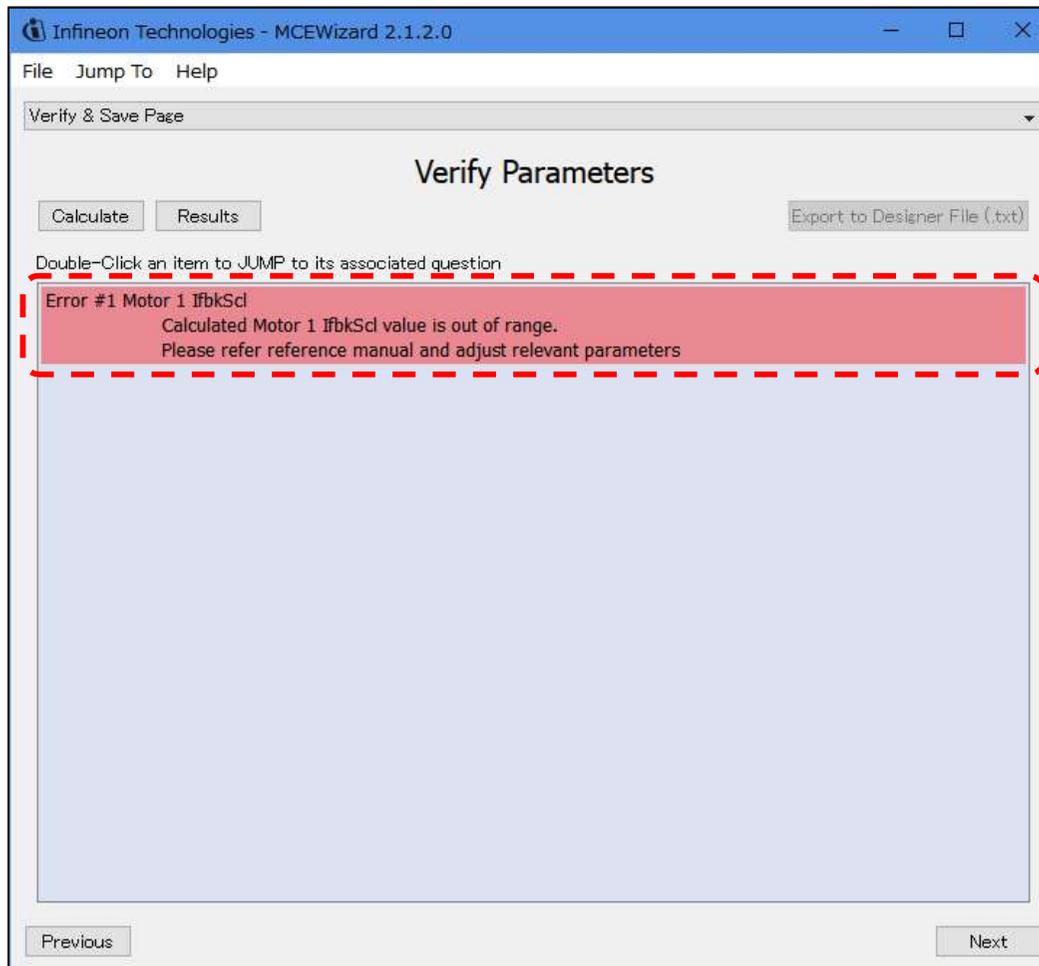
“Calculate”をクリックして設定項目
が正しいかチェックする。
全てブルー表示になれば不正設定はな
い状態です。

“Export to Designer File (.txt)”をク
リックして.txtを出力します。

“MCEWizard”の設定ファイル(拡張
子.mc2)はFile->Save Wizard Fileで
保存します。

MCEWizardでパラメータ入力

設定入力の検証でエラーが出る場合

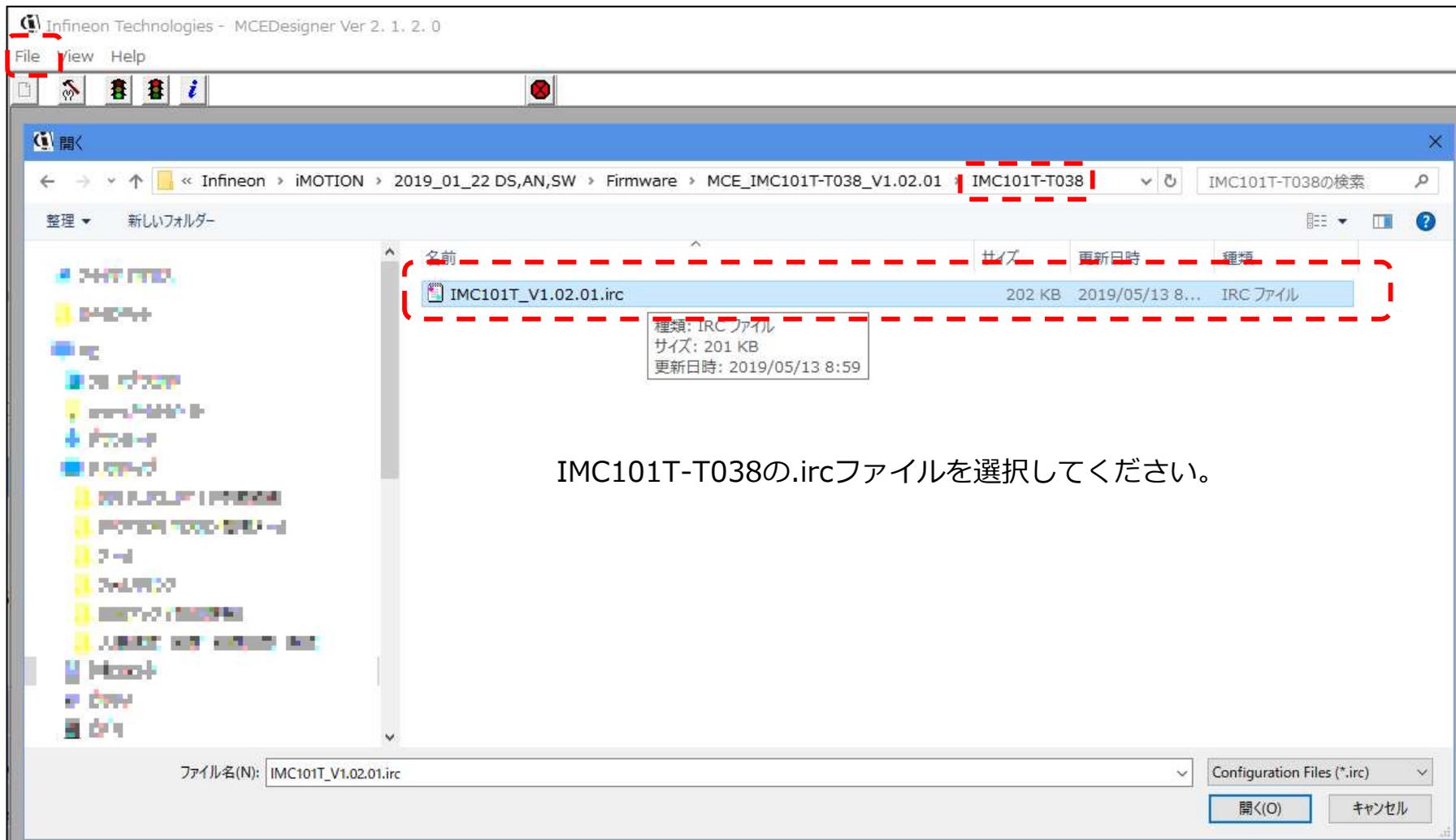


“Calculate”をクリックし不正設定があれば、赤地でErrorが表示されます。

エラーが出なくなるまでパラメータを調整してください。

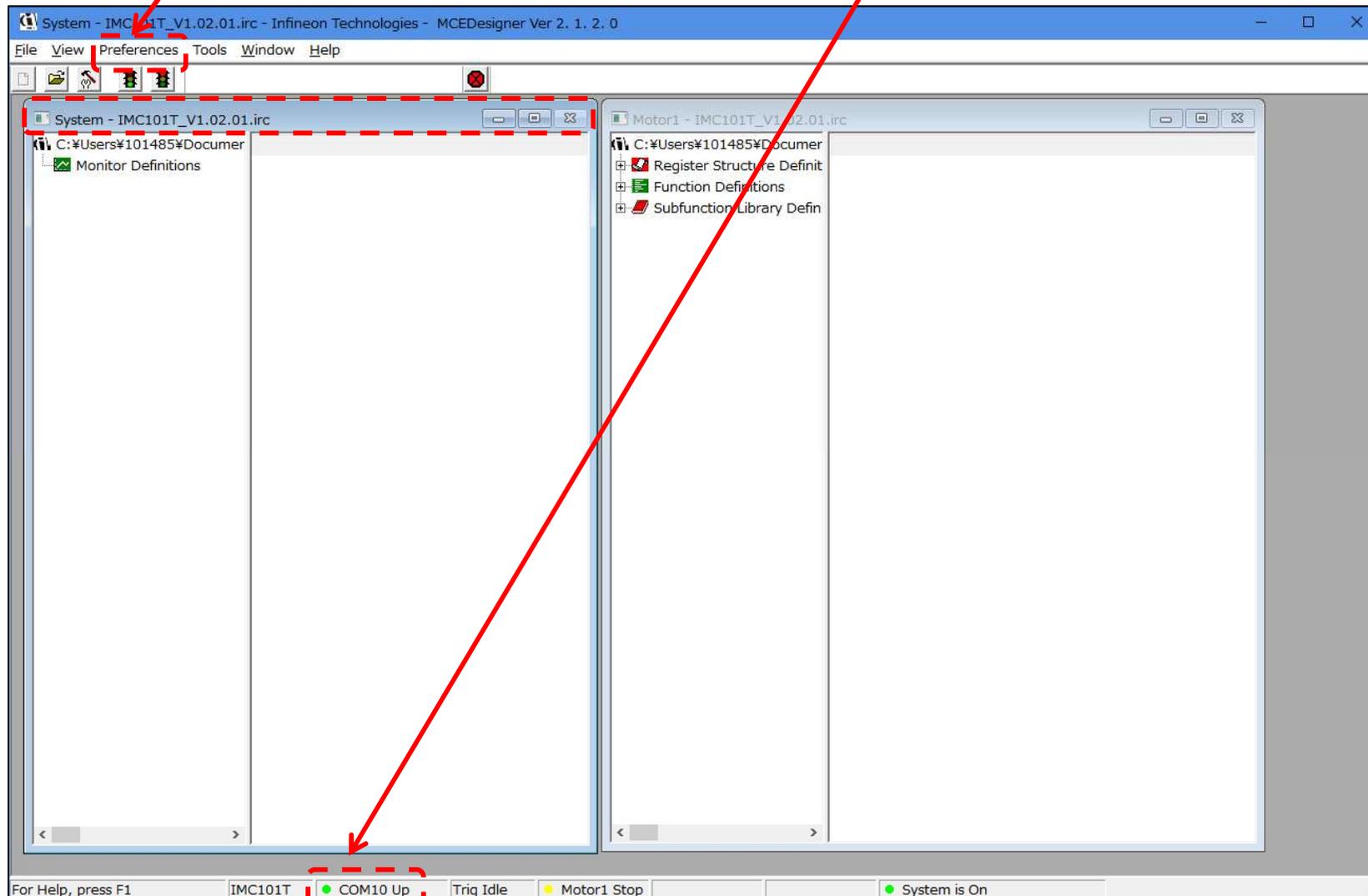
MCEDesignerでモーターを駆動

File->Openで.irc(コンフィグレーションファイル=MCEDesignerの設定ファイル)を読み込む
デバイスのデフォルト設定が読み込まれます



MCEDesignerでモーターを駆動

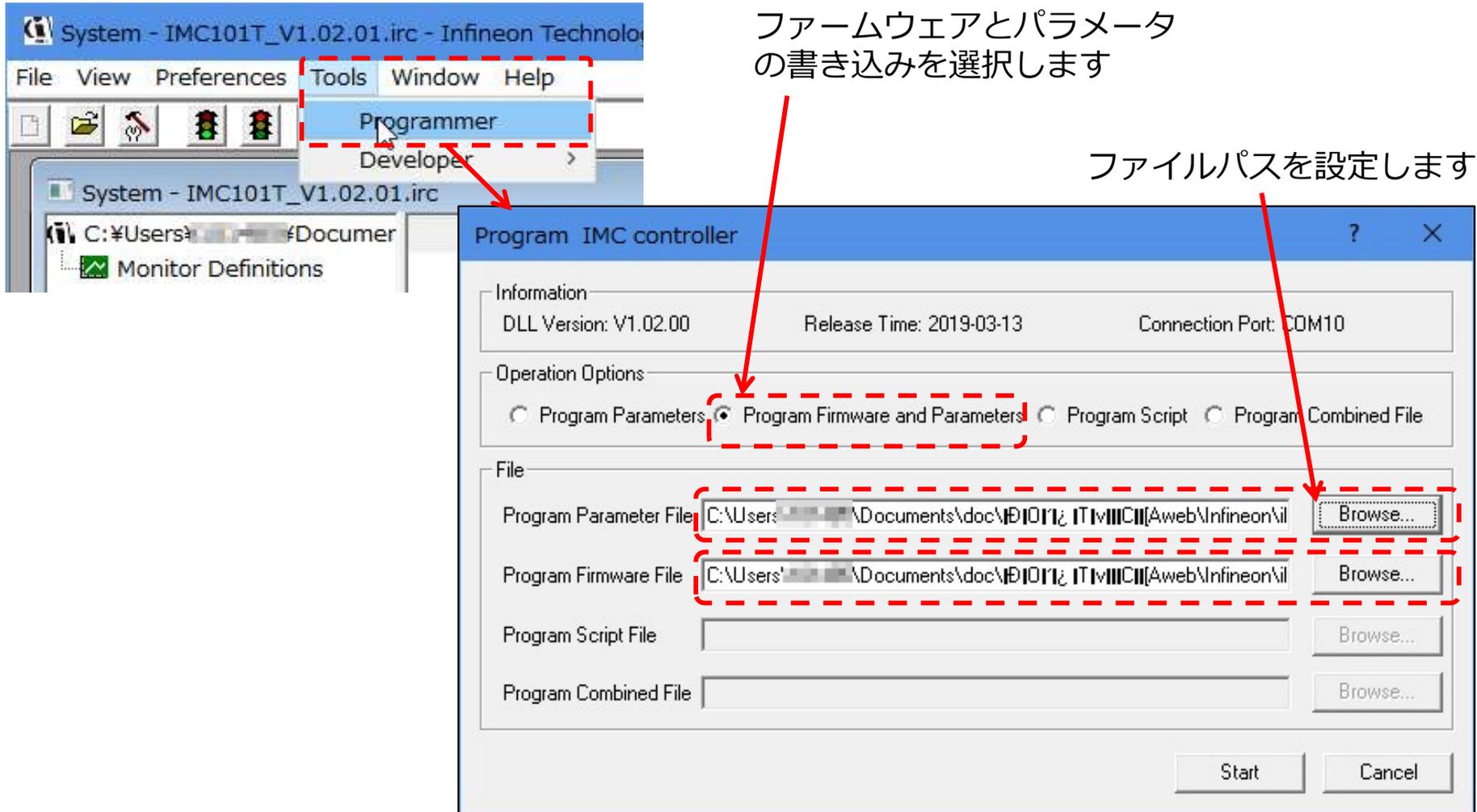
“System”ウィンドウを**アクティブ**にした後、(“Motor1”ウィンドウがアクティブだとメニュー構成が異なります)
メニューから「Preference」を選択、COMポートを設定します
コントローラICと通信可能になると、ステータスラインに緑丸とCOMポートが表示されます。



MCEDesignerでモーターを駆動

Tools→Programmer

を選択し、デバイスへファームウェアとパラメータを書き込みます。



ファームウェアとパラメータ
の書き込みを選択します

ファイルパスを設定します

Information
DLL Version: V1.02.00 Release Time: 2019-03-13 Connection Port: COM10

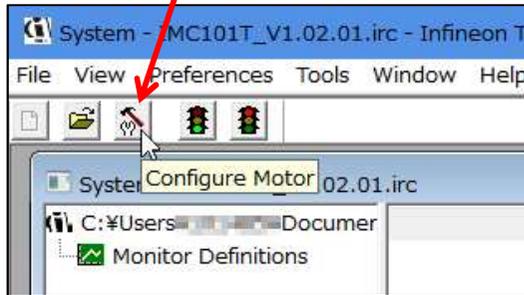
Operation Options
 Program Parameters Program Firmware and Parameters Program Script Program Combined File

File
 Program Parameter File: C:\Users\...\Documents\doc\B1012 IT\MIIC1[Aweb\Infineon\il]
 Program Firmware File: C:\Users\...\Documents\doc\B1012 IT\MIIC1[Aweb\Infineon\il]
 Program Script File:
 Program Combined File:

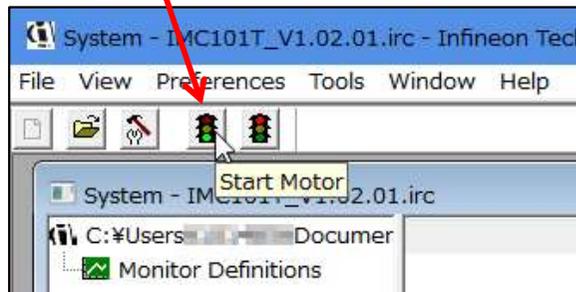
Start Cancel

MCEDesignerでモーターを駆動

“Configure Motor”アイコンをクリックし、モータを初期化します。



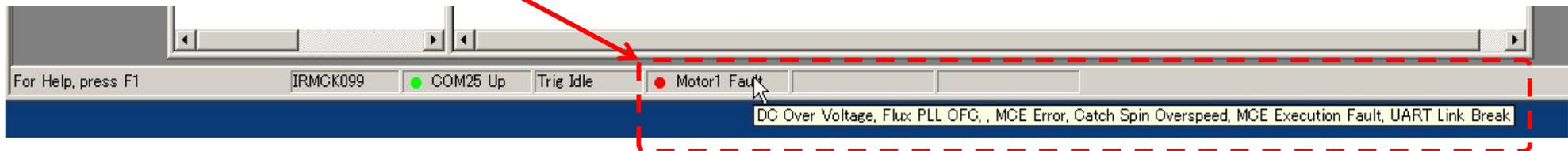
“Start Motor”アイコンをクリックしモータを回転させます。



ここまで、モータは一瞬動きますが、回転しないと思います。
原因はチューニング不足です。
MCEWizardでパラメータの再確認を行います。

モーターが回転しない、または、異常停止したときは、MCEDesignerのステータスラインを確認してください。

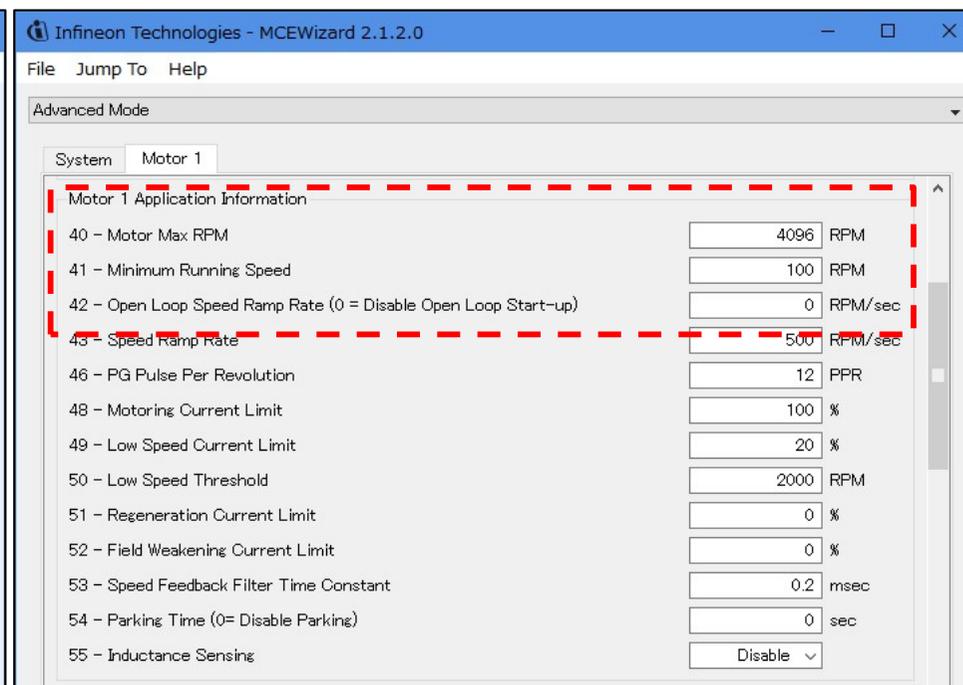
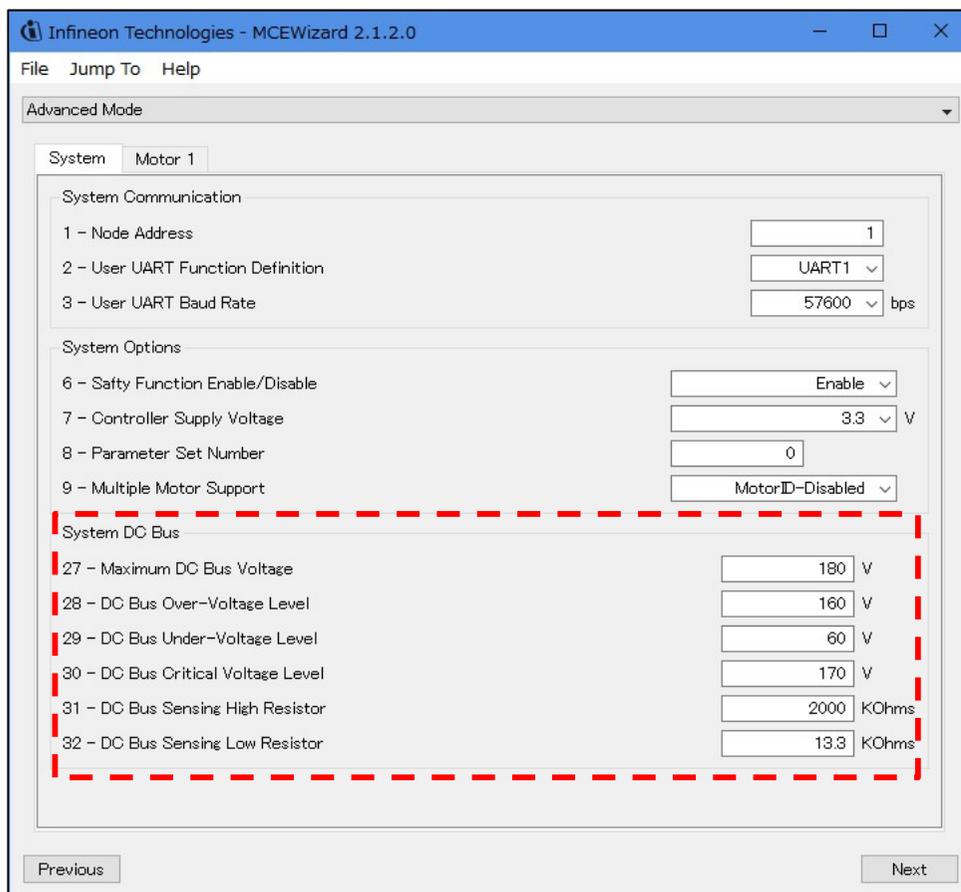
(例) "Motor1 Fault"でモーターが停止
マウスカーソルを置くとTipsが表示されます。
TipsをヒントにMCEWizardの設定を見直します。



上記の場合、DC電圧の過電圧を検知して、モーターを異常停止しています。
DC電圧の過電圧設定が低すぎないか、設定を見直します。

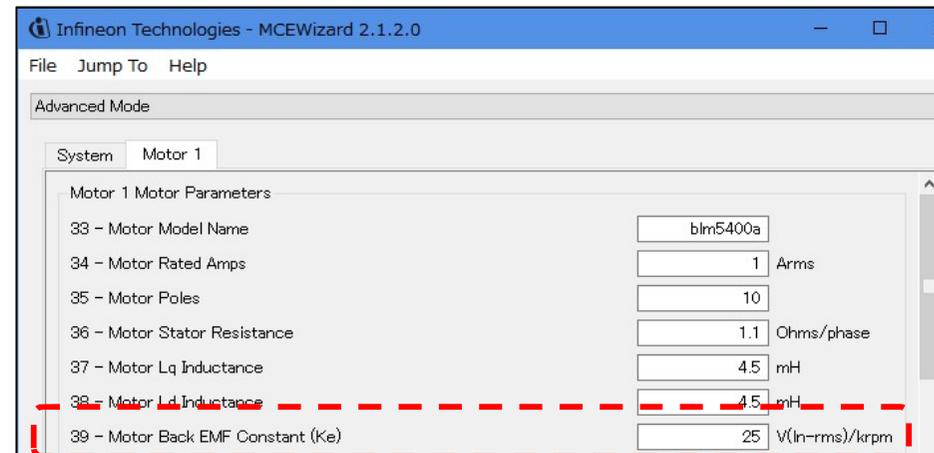
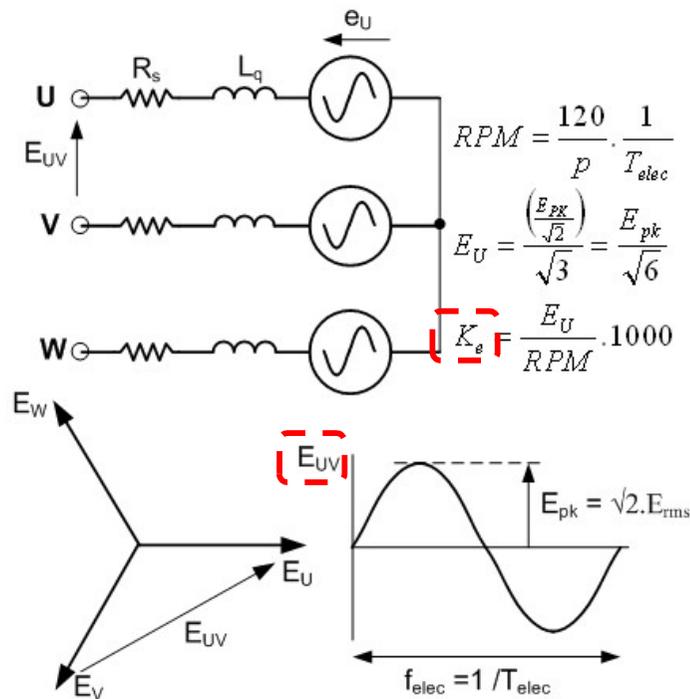
【設定見直し例①】

“Motor1 Fault”のTips表示で“GateKill”となっている場合、
電流制限などが原因でモータ駆動回路を強制的に全オフします。
「電流制限量」や「最大・最小回転数」の設定を見直してください。



【設定見直し例② (Motor Back EMF Constant (Ke))】

UV間をオシロスコープでプローブし、
 モーターを回すと逆起電力が観測できます。
 1000rpmで回した時の逆起電力 E_{uv} を測定し、 E_{pk} 、 E_u 、 K_e を計算します。



MCEDesignerの機能 Tips

- 制御レジスタの設定と値を読み出すことができます
Motorウィンドウの“Write Registers”と“Read Registers”を使用します。



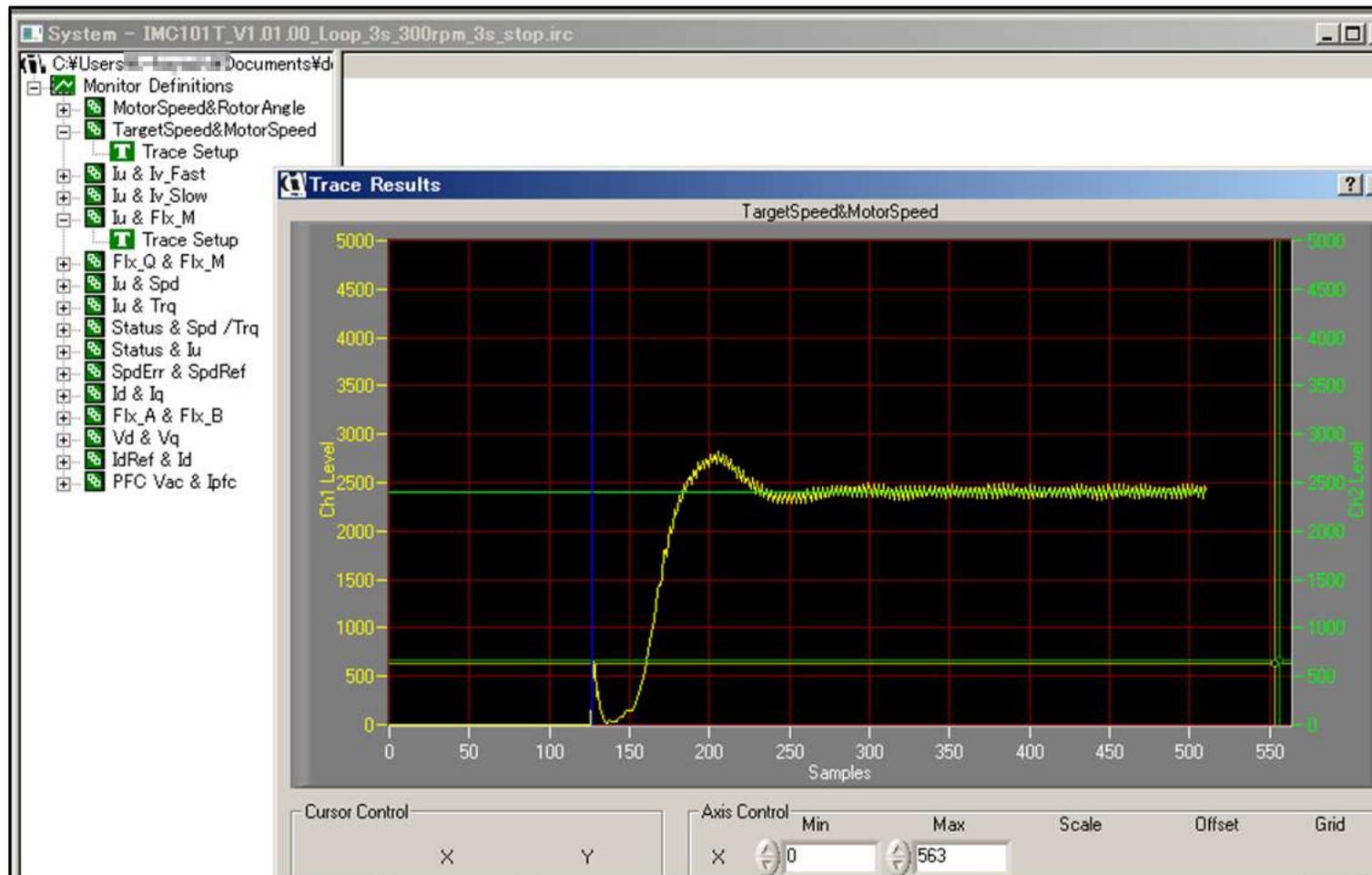
通常、モーター駆動デバッグでは、モーターパラメータの設定はMCEWizardを使用し、その設定値をMCEDesignerで再設定して、モーター駆動実験を行います。この手順ループを繰り返すことになります。

上記の手順ループが煩雑な場合は、“Write Registers”の制御レジスタに直接値を書込むことで、MCEWizardに戻る必要がなくなり手順を減らすことができます。

MCEDesignerの機能 Tips

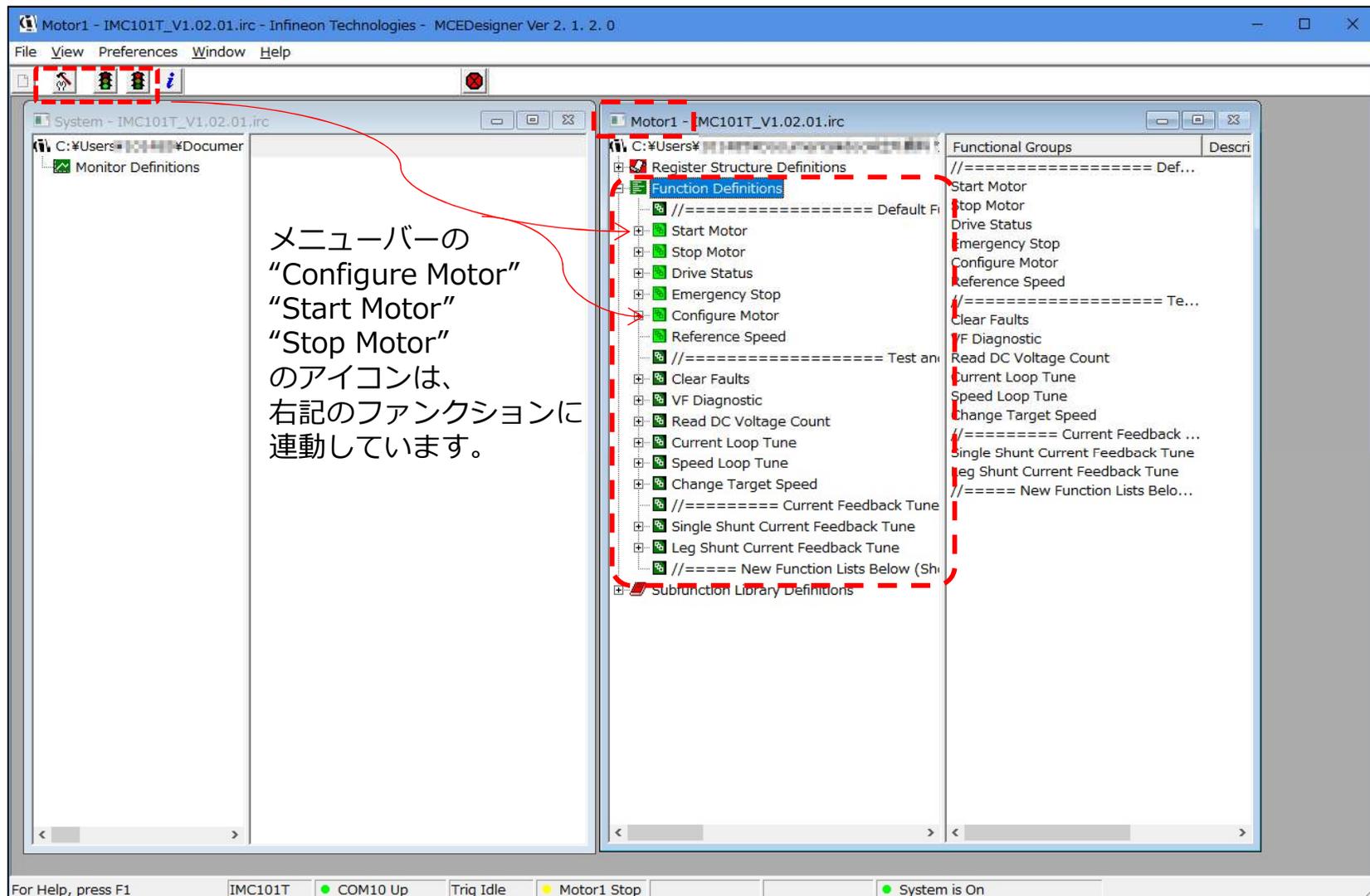
- 波形表示が可能です
iMOTIONの内部計算値をリアルタイムで波形画面します。

(例) モーターのTargetSpeed(緑) と MotorSpeed(黄)



MCEDesignerの機能 Tips

- ファンクション機能
タスク処理を登録し、実行することができます。
モーターの特性評価、テストに活用できます。



参考マニュアル一覧

MCEDesignerのマニュアル : MCEDesigner Users Guide.pdf
Script機能のマニュアル : Script For MCE 2.0 User Guide.pdf

EVAL-M1-05-84Dアプリケーションノート、回路図

<https://www.infineon.com/cms/jp/product/evaluation-boards/EVAL-M1-05-84D/productType.html?productType=5546d46253f6505701544c6f6143172b>

EVAL-M1-101T データシート

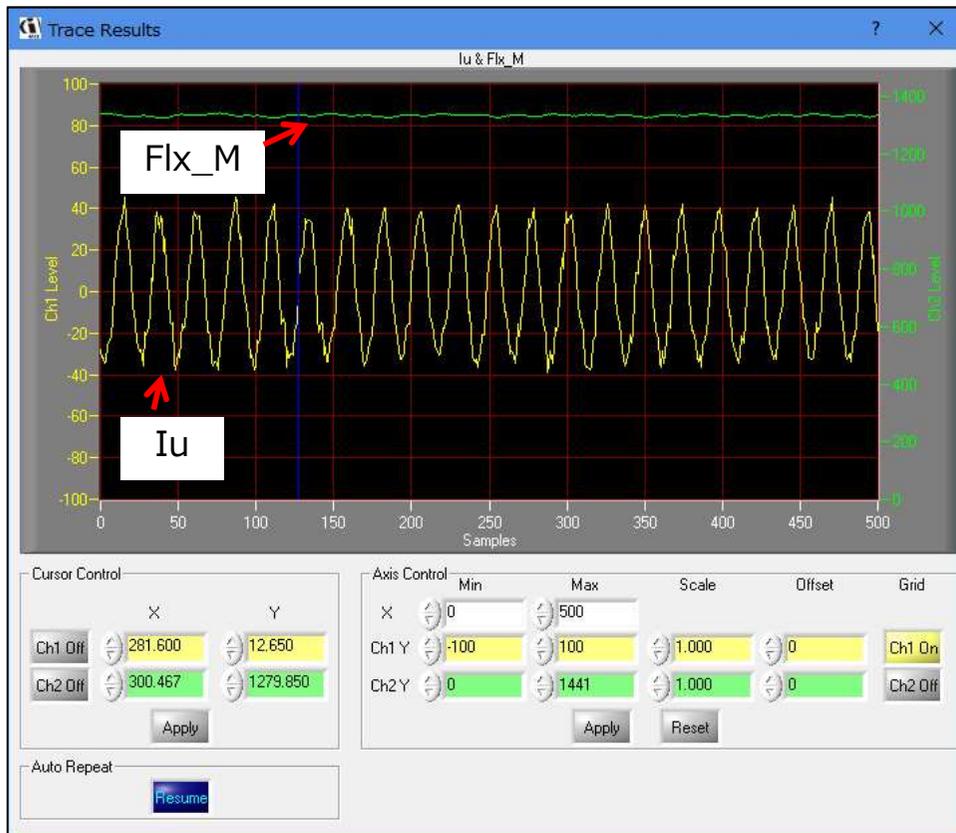
<https://www.infineon.com/cms/jp/product/evaluation-boards/eval-m1-101t/>

1. モーター電流波形の調整
2. 回転立ち上がり時間の調整
3. 回転数の変更
4. 回転数と電源電流
5. 騒音の調整

【実験】モーター電流波形の調整

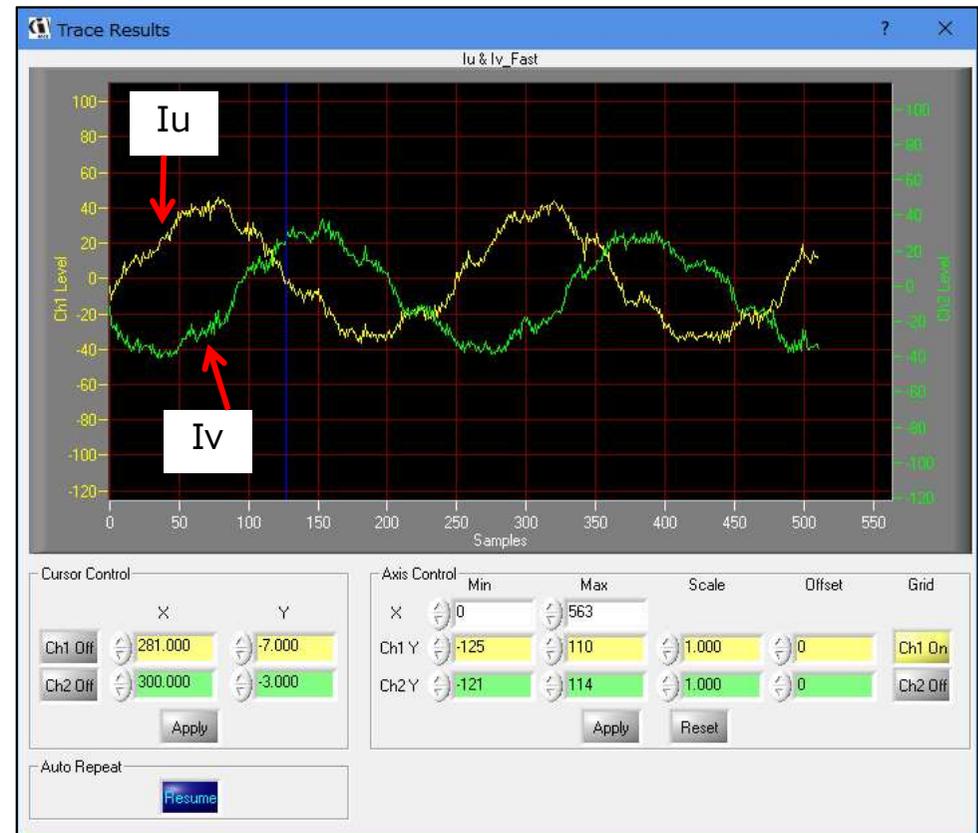
■調整のコツ

Flx_Mがフラットで2,048がベスト
 下の測定ではフラットで1,350付近になっている
Flux Estimator Time Constantを調整しつつ、
 Flx_Mが安定する設定を探します。



■調整のコツ

Gating Propagation Delay
Phase Shift Window Size
 (電流サンプリングタイミング)を調整しつつ、
 モーター電流波形が良くなる設定を探します。

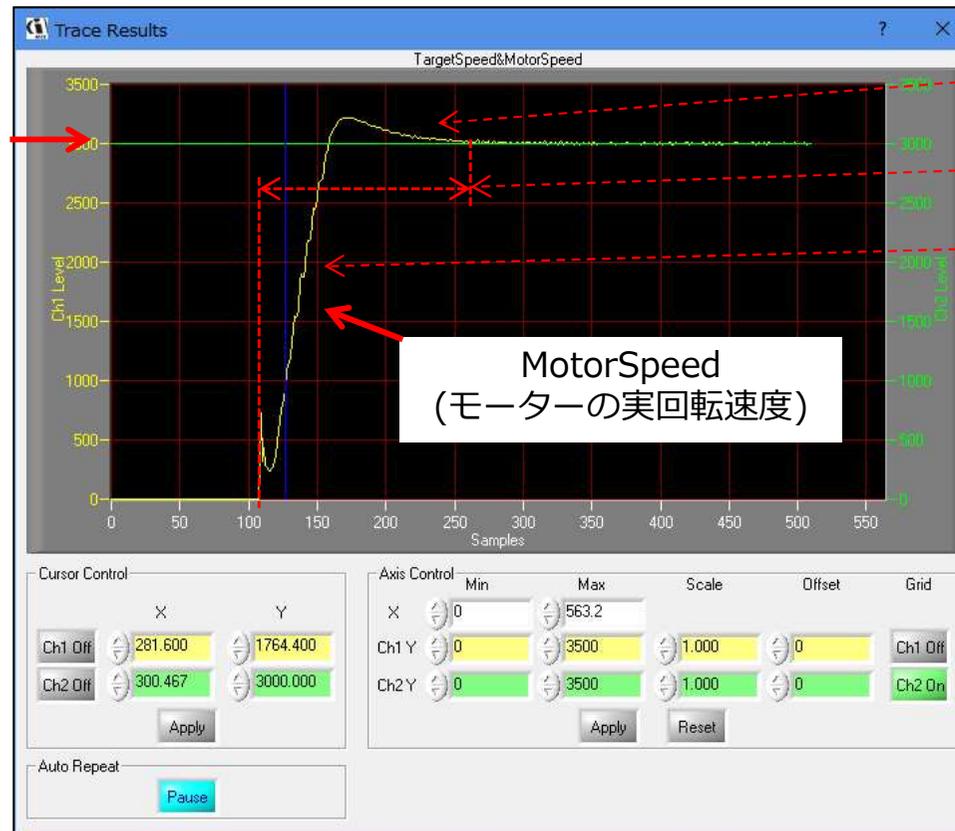


【実験】回転立ち上がり時間の調整

■調整のコツ

オーバーシュートを低減しつつ、
TargetSpeed到達までが期待する時間になるように、
Speed Regulator Proportional Gain
Speed Regulator Integral Gain
Speed Ramp Rate
を調整します。

TargetSpeed
所望のモーター回転数

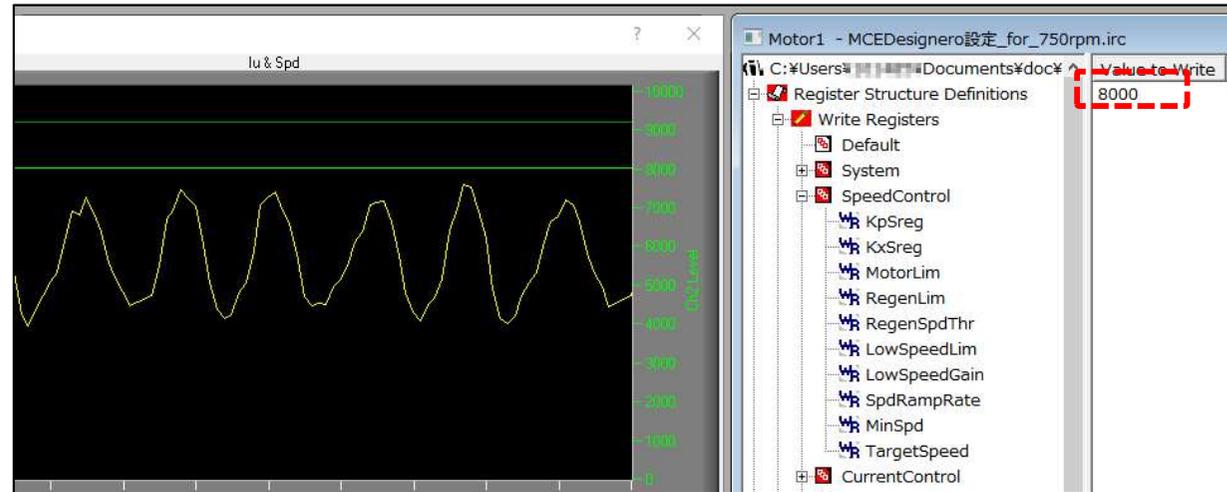


オーバーシュート
立ち上がり時間
立ち上がり速度
(RPM/s、加速度)

【実験】回転数の変更

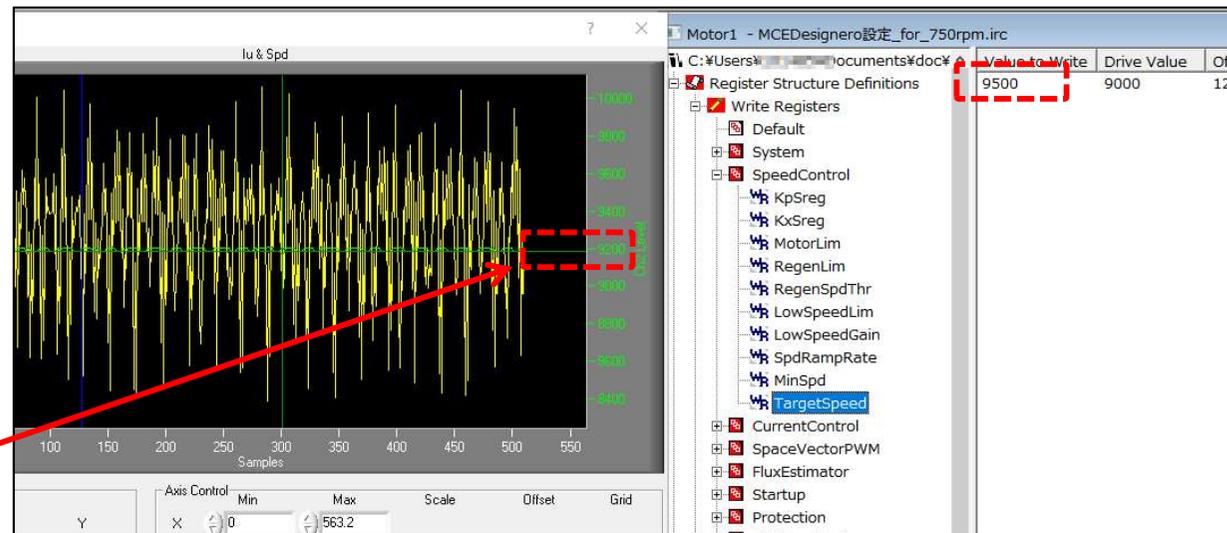
TargetSpeed=8,000
では、安定して回転しています。

パラメータ設定は、
TargetSpeed=3,600で安定するよう
に調整しました。



TargetSeed=8,500付近から電流波
形が乱れ始め、
TargetSpeed=9,500では同期制御
ができなくなりました。
TargetSpeed=9,500用のパラメー
タ設定が必要と考えられます。
Script機能を使うことで、マルチパ
ラメータが可能です。

9,300から上がらない



【実験】回転数と電源電流

DC電圧を変えて、回転数と電流値を観測 (モーター負荷なしでの実験)

DC電圧140.5V

750rpm



1,500rpm



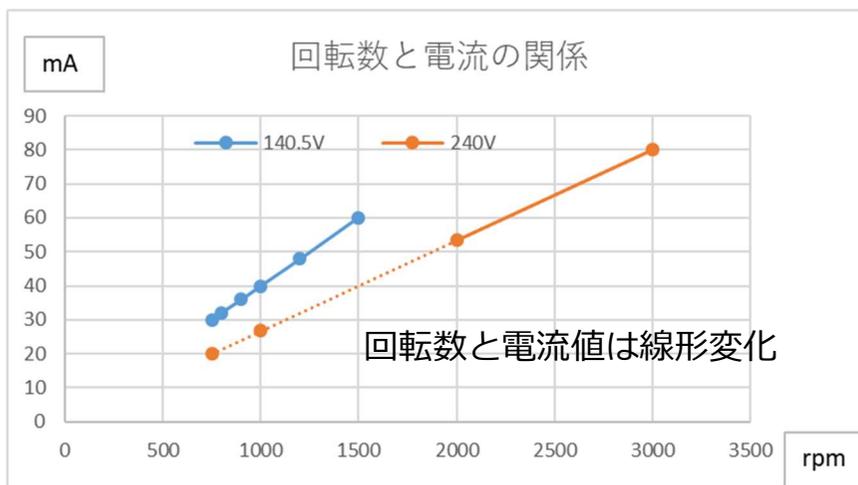
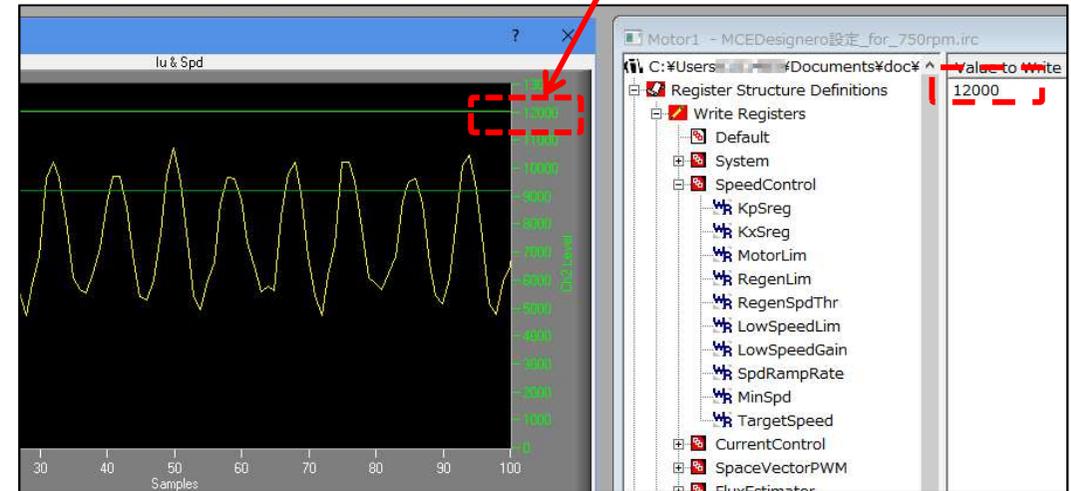
DC設定240V

3,000rpm



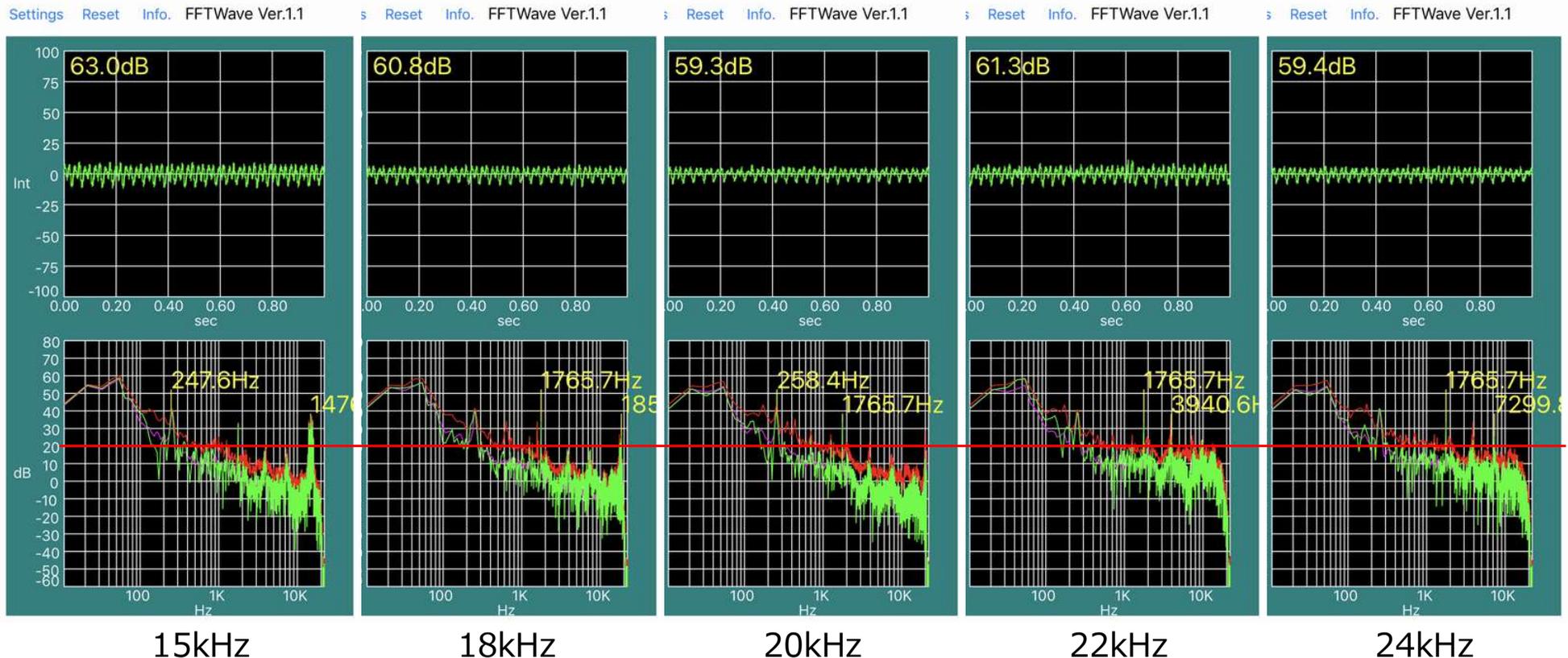
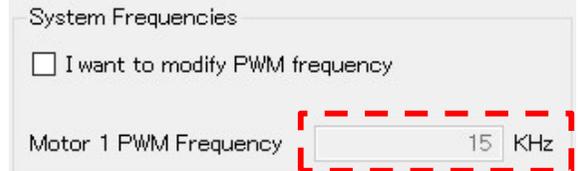
DC電圧をアップ

3,000rpm到達
TargetSpeed=12,000



1,500rpm固定、モーター負荷なしでの実験
PWMキャリア周波数だけを変更、それ以外のパラメータは固定。
PWMキャリア周波数15kHz → 18kHz → 20kHz → 22kHz → 24kHz

(騒音測定は、簡易的にiPhone7 FFTWaveアプリを利用しています)



■所見

- ① PWMキャリア周波数15kHz対24kHzでは、約3dB改善する (63.0dB→59.4dB)
- ② PWMキャリア周波数を20kHz以上に上げると、ピーク雑音を可聴域外にシフトできた
- ③ 250Hzと1.7kHzに固有周波数がみられる これは、PWMキャリア周波数に依存しない (回転数とメカ要因と推測)



NEXTY Electronics
A Toyota Tsusho group company

<http://www.nexty-ele.com>

End of file

