



汎用ドライブ装置への取り組み

Initiatives for General-Purpose Drive Systems

製鉄設備において、薄板の表面処理を行うライン設備に関しては、その設備を構成する電気的な要素として、インバータ(注)を用いたドライブ装置が数多く採用されている。従来は、要求される機能を満足しないため、汎用インバータではなく高機能な大手重電メーカー製の専用インバータが採用されてきた。その様な状況下で安価なドライブ装置を提供する目的で、汎用インバータについての機能改善を進め、製鉄設備に於いて適用を可能とするための開発を行った。次に、インバータ盤の設置スペースの問題を解決するために、汎用インバータを用いた段積み構造のインバータ盤の開発を行い、重電製の専用ドライブ装置に対抗できる製品構成とした。本稿においては、その取り組みと現在の適用事例について報告する。

注：インバータとは、電動機を制御(速度、トルク)するために、周波数・電圧・電流を可変する装置

In steelmaking facilities, inverter-based drive systems* are widely used as electrical components in line equipment for surface treatment of thin sheets. Traditionally, due to the inability of general-purpose inverters to meet required functions, custom high-performance inverters from heavy electric machinery manufacturers have been adopted instead. In this context, we have been working on improving the functionality of general-purpose inverters to provide cost-effective drive systems that can be applied to steelmaking facilities. Furthermore, to address the issue of limited installation space for inverter panels, we have developed a stacked structure inverter panel using general-purpose inverters, creating a product that can compete with custom drive systems from heavy electric machinery manufacturers. This paper reports on our initiatives and current application examples.

*Note: Inverters are devices that control the speed and torque of electric motors by varying frequency, voltage, and current.



蔵田 晃郎
KURATA Akio
電計事業本部
エンジニアリング事業部
電計エンジ1部長



立花 大介
TACHIBANA Daisuke
電計事業本部
エンジニアリング事業部
電計エンジ1部
庄延・表面処理プロセス制御グループ

1 はじめに

製鉄設備では、多くの電動機が用いられており、それを制御するためにインバータを用いたドライブ装置が数多く採用されている。特に、薄板の表面処理を行うライン設備においては、小・中容量の機種が多いが、従来は、要求される機能及び性能が高いため、汎用インバータを用いたドライブ装置では対応する事ができなかった。そこで、安価で高性能なドライブ装置を提供するために、汎用インバータの機能改善に取り組んだ。

2 プロセスラインへ 適用可能な汎用インバータの開発

2.1 開発対象インバータと機能改善点の検討

汎用インバータの開発は、汎用インバータメーカーと共同で行う必要がある。鉄鋼設備では汎用PLCとして三菱電機製MELSECが多く採用されている。インバータの機能改善を進める上で、制御装置との親和性の観点からも、同じく三菱電機製の汎用インバータであるFREQROLを対象とした。まずは、当時の汎用インバータFREQROL-A700と重電製インバータとの機能比較を行い、改善点の検討を行った。(表1)

ドライブシステム			速度制御			トルク制御			付帯機能
			速度制御	零速制御	低出力制御	制御精度	4象限運転	逸走防止制御	
重電 メーカー	A社	専用インバータ	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
	B社	専用インバータ	◎	◎	◎	◎	◎	◎	
一般電気 メーカー	三菱電機	汎用インバータ FREQROL	○	◎	△	○	△	×	

<表1:インバータ機能比較表>

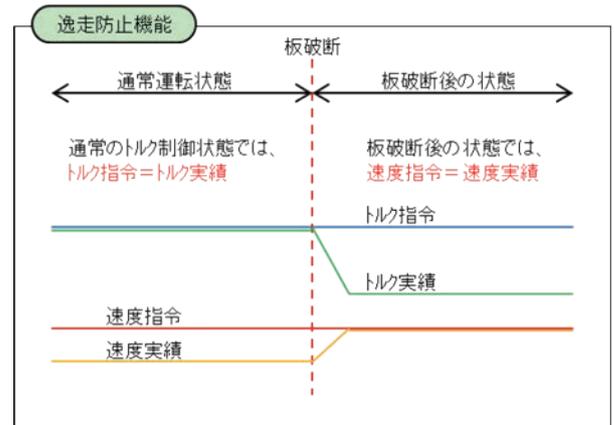
プロセスラインに適用する上で必要となる機能改善として、下記の4項目について実施する事とした。

- (1) トルク制御機能の向上(トルク制御、逸走防止機能)
- (2) 速度制御精度の向上(定出力領域の速度応答、P/PI制御切り替え・ゲイン変更、Droop量設定等)
- (3) 付帯機能の拡充(非常停止方法の多様化、モニターの高応答化等)
- (4) 汎用ネットワーク(Profibus)に対応した、インターフェースの構築

2.1.1 トルク制御機能の向上

プロセスラインにはコイルの巻出し、巻取りを行う「リール」と言われる設備があり、張力制御(インバータ制御としては、トルク制御)を行っているが、何らかの問題で薄板が破断した場合でも逸走することなく、既定の速度で運転する必要がある。当初FREQROL-A700では、この機能が十分ではなく、速度が最高速度付近まで加速してしまった。そこで、トルク制御のロジックを見直し、薄板が破断した場合でも安全に制御できるように改善を行った。(図1)

[参考:“FREQROL”は三菱電機の登録商標です。]



<図1:逸走防止機能の動作>

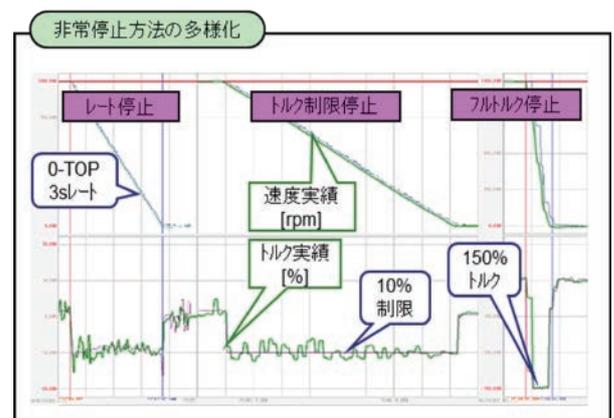
2.1.2 速度制御精度の向上

プロセスラインにおいては、多くの電動機が、製造中である薄板を通じて間接的に接続されている。そのため、ライン運転時に安定して加減速を行うためには、各電動機は速度応答が同じになるように調整する必要がある。

FREQROL-A700では、速度応答調整については、あまり知見が無い技術者でも簡単に設定できたが、プロセスラインに於いて要求される詳細な調整については、使いにくいパラメータ設定となっていた。また、定出力領域(ベース回転速度とトップ回転速度の間)と言われる回転速度においては、速度応答が遅くなる現象もあった。そこで、速度制御機能の見直しを行い、重電製インバータと同じようにパーユニット化(単位として、最高速度・定格トルクを100%とすることで、仕様が違う電動機においても、同一の単位系で取り扱う)されたゲインにて設定できるように機能追加を行った。

2.1.3 付帯機能の拡充

プロセスラインにおいて、緊急時に設備を非常停止させる場合のインバータの制御方法として、予め設定された減速レートにて減速するレート停止と、発生できる最大のトルクにて減速させるフルトルク停止がある。FREQROL-A700においては非常停止時の制御機能が十分では無かったため、これを改善し、対応可能とした。(図2)



<図2:非常停止方法の多様化>

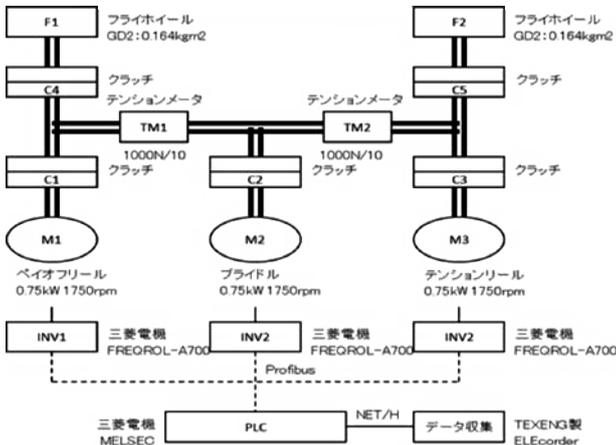
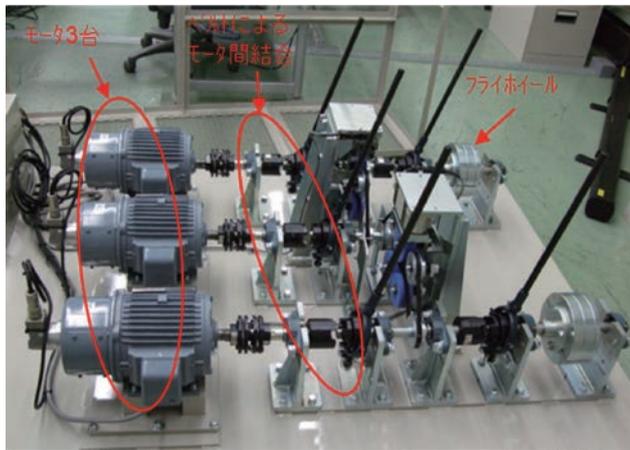
また、試運転時や操業運転開始後の設備監視において、インバータの動作を確認する場合、過渡現象についても解析を行う必要があり、高速なモニター機能が要求される。この点においてもFREQROL-A700は不十分であったため、機能改善を行い高速で監視が可能となるような改善を行った。

2.1.4 汎用ネットワークへの対応

PLCとインバータとのインターフェースにおいて、広く普及しているProfibusを対象に機能改善を行った。元々、FREQROL-A700はProfibusに対応していたが、機能改善を進める上で必要となる項目については、インターフェースに追加する必要がある。そこで、高速性が要求される項目については、定周期通信の伝文に追加するために、伝文内容を自由に設定できるように変更した。このことにより、必要な指令などの項目を高速でインバータに伝えることが可能となった。

2.2 開発時のテスト環境

インバータの機能改善を行う上で、実機によるテストが必要不可欠であり、様々な条件下に置いてテストを行う必要がある。そこで、以前プロセスライン制御の実習を行うために開発した、テスト装置を使って機能試験を行った。(図3)



<図3:プロセスライン実習用テスト装置>

この実習機では、テンションメータを装備しており実際の張力が測定可能である。また、フライホイールなどもクラッチにて脱着可能であり、様々な条件によるテストが可能となっている。この実習機を活用する事で、機能改善の確認をすることができた。

2.3 汎用インバータのプロセスライン適用について

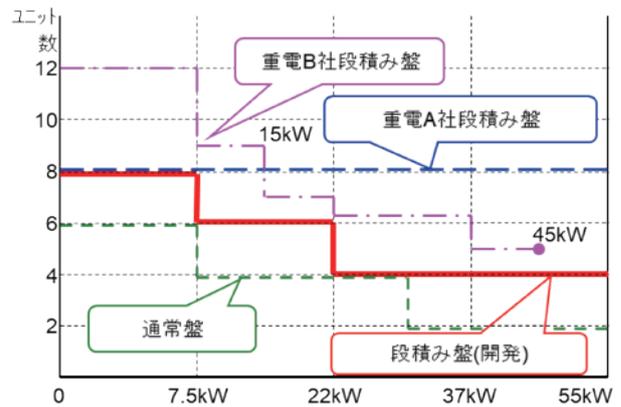
前記した機能改善を行った結果、プロセスラインへの適応が可能となり、汎用インバータを用いた安価なドライブ装置の提案が可能となった。現在の三菱電機製FREQROLは開発時の型式A700より更新されFREQROL-A800となっている。A700にて開発した機能については、全てA800へ機能移管しており、A800においても問題なくプロセスラインへ適応可能である。

3 段積みインバータの開発

3.1 段積みインバータ盤の検討

次に、開発を行った汎用インバータの更なる適用拡大を図るために、段積み構造のインバータ盤開発を行った。重電製の小容量領域のインバータ盤は、段積み構造の専用インバータ盤であり、搭載している専用インバータは、段積み構造に特化した薄型幅広構造で、非常にコンパクトに仕上がっていた。(図4)

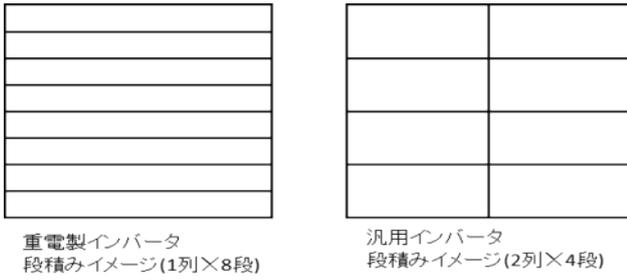
盤サイズ W800(1000)×H2350×D800の場合



<図4:段積み数インバータ盤比較>

そこで、汎用インバータにおいても段積み構造でコンパクトなインバータ盤を開発し、電気室の設置スペース有効利用を行う必要があった。また、同時に標準化設計を行う事によりでトータルエンジ費の削減も行う事ができた。

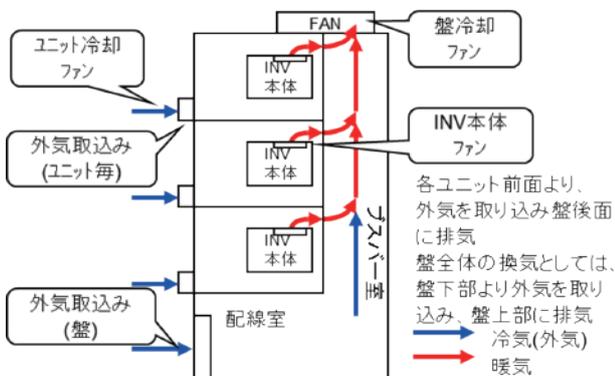
段積み構造とした汎用インバータの特徴としては、通常構造の盤にも搭載する必要があるため、立方体構造となっていることがある。そこで、これを用いた段積み構造のインバータ盤は、2列多段積み構造として搭載効率の向上を図った。(図5)



<図5:インバータ段積み方法>

3.2 冷却方法の検討

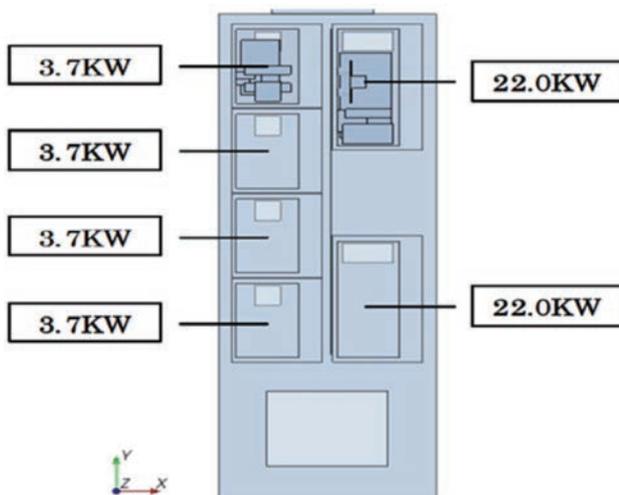
段積みインバータ盤を開発する上での重要な課題として冷却方法がある。今回の開発では各ユニットが前面より外気を取り込むと同時に盤としては下部より外気を取り込んで、盤上部へ排気させる方法としている。(図6)



<図6:段積みインバータ盤冷却イメージ>

3.3 熱解析シミュレーション

段積みインバータ盤として、冷却機能に問題が無い事を確認する方法として、実際のインバータを100%の負荷状態にして連続運転する事が困難なため熱解析シミュレーションを用いた解析を行った。今回、開発を行ったS型段積みインバータ盤(30kW以下)において、温度上昇が大きいケースとして3.7kW4台+22kW2台の組み合わせにて検証を行った。(図7)



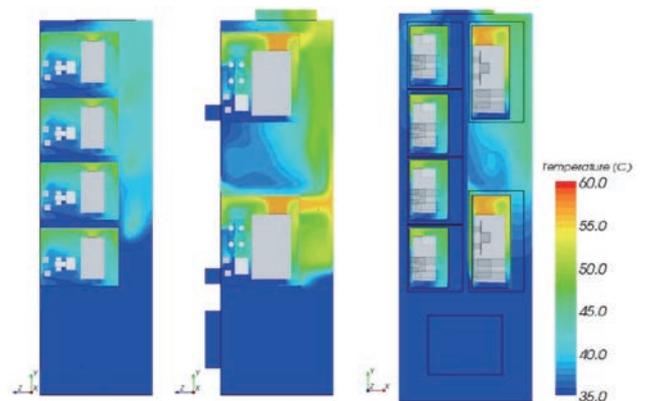
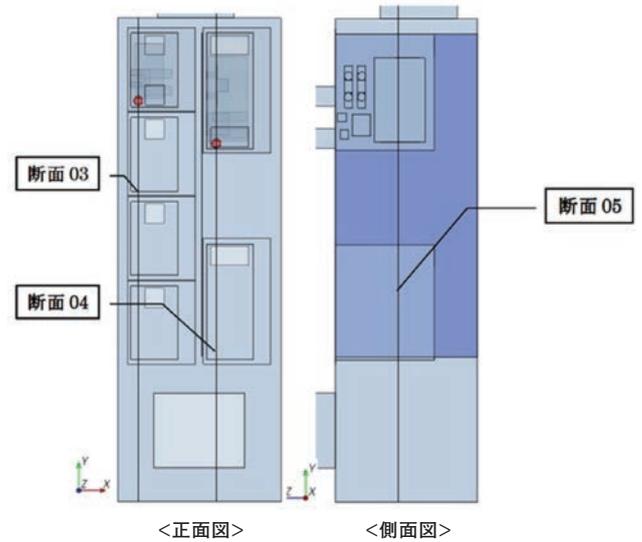
<図7:熱解析モデル正面図>

事前に各ユニット前面ファンと盤上部ファンの風量測定を行い、シミュレーションに用いた。

その他、シミュレーションを行う条件は下記とした。

- (1) 外気温35度(電気室を想定)
- (2) インバータ100%連続負荷
- (3) 判定基準は、各インバータ下部10mmの位置で、50度以下(三菱電機仕様)

以下に、熱解析による、温度コンター図を示す。(図8)



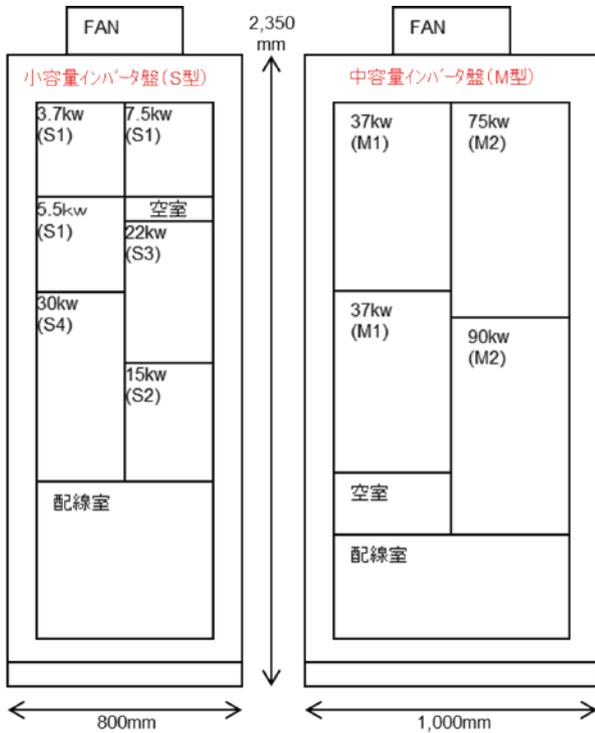
<断面03側面図> <断面04側面図> <断面05正面図>

<図8:温度コンター図>

熱解析を行ったことにより、段積みインバータ盤内の温度分布を把握する事ができ、インバータ下部10mm位置での温度データは、3.7kWで36.7℃、22kWで35.4℃となり、問題ないことが判った。

3.4 現在の段積みインバータ盤

現在、S型・M型と呼ばれる2つのタイプの段積みインバータ盤があり、各盤の様子は以下となっている。外形図(図9)仕様(表2)写真(図10)



<図9:段積みインバータ盤外形正面図>



<図10:段積みインバータ盤写真>

4 汎用ドライブ装置採用事例

プロセスラインへ適用可能な汎用インバータと段積みインバータ盤の開発により、現在では、殆どの表面処理ラインにおいて汎用ドライブ装置の採用が可能となった。以下に、汎用ドライブ装置のメリットと採用事例について述べる。

4.1 汎用インバータ活用によるメリット

(1) 低コスト

重電製インバータと比較して安価となり、予備品の共有化が可能である。また、老朽時の後継機種への部分的取替可能である。

(2) 高メンテナンス性

機器の保守情報が開示されており、メーカー依存度が低い。次に、機器の流通量が多く、予備品の短納期確保が可能である。さらに段積みインバータ盤は拡張性が高く、ニーズに適したシステム構築が可能である。

4.2 採用状況

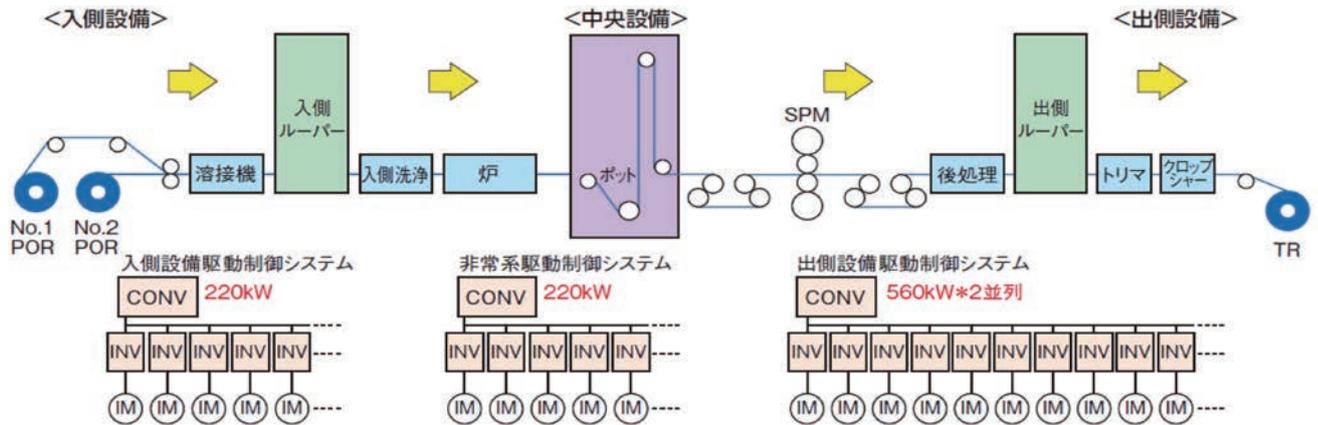
(1) システム導入事例

連続溶解メッキラインへの汎用駆動制御装置のシステム適用例を図11に示す。下記の設備では可変速電動機96台の駆動装置に汎用インバータを使用し、段積みインバータ盤30面を採用した。その結果、重電製インバータに対して約30%安価化する事ができ、電気室内の収納スペースについても、従来の通常盤に対して、約30%削減することができた。

ユニット寸法と収納台数						
容量 (kW)	ユニット型式	ユニット寸法(mm)			最大収納数	
		W	H	D		
0.4	S1	230	400	595	8	
0.75						
1.5						
2.2						
3.7						
5.5	S2	230	500	595	6	
7.5						
11	S3	230	600	595	4	
15						
18.5						
22	S4	230	800	595	4	
30						
37	M1	417	800	628	4	
45						
55	M2	417	900	628	4	
75						
90						

S型段積み盤: W800 H2350 D800 ユニット収納高さ1600
 M型段積み盤: W1000 H2350 D800 ユニット収納高さ1800
 各盤にてユニットの組み合わせは自由(ユニット収納高さ以内)

<表2:ユニットサイズと収納可能数>



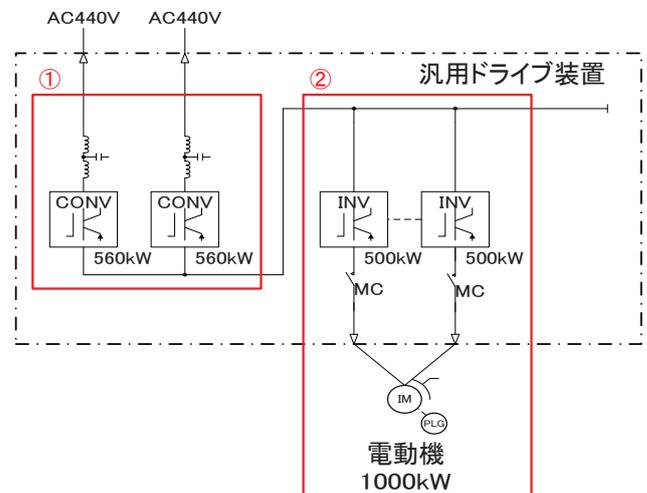
<図11:システム 導入事例>

(2) 段積みインバータ盤導入実績(2023年現在)

表3に段積みインバータ盤の当社の導入実績を示す。2014年導入開始から10年間で約500台の電動機に段積みインバータ盤を採用している。近年では年間の導入台数が増加してきており、年間100台以上の実績がある。

年度	ユニット型式						
	S1	S2	S3	S4	M1	M2	
2014	1	1	2	1	0	0	
2015	3	4	2	4	0	0	
2016	64	5	4	5	14	8	
2017	7	0	0	0	0	0	
2018	31	9	0	0	0	0	
2019	13	4	3	1	3	7	
2020	105	6	6	4	5	1	
2022	117	27	2	2	0	0	
2023	198	1	0	1	0	0	
合計	341	56	19	17	22	16	

<表3 年度別導入実績>



<図12:ドライブ装置 単線結線図>

(3) その他適用事例

① 汎用コンバータ並列化による大容量化

汎用コンバータの最大容量は560kW(2023年現在)であり、電動機台数が多く最大容量を超過した場合は、汎用コンバータを適用することができなかった。そこで、図12-①のように汎用コンバータ2台を並列に接続することで最大容量1000kWまで対応可能となった。この結果、多数の電動機を運転する場合においても、汎用コンバータ採用の選択幅が広がった。

② 大容量電動機の駆動

次に汎用インバータの最大容量は500kW(2023年現在)であり、それ以上の電動機容量の場合は汎用インバータの適用ができない課題があった。そこで、図12-②のように1000kWの電動機を駆動させる場合、汎用インバータ500kWを2台並列に接続することで、電動機駆動が可能となった。

4.3 今後の汎用ドライブ装置への取り組み

今後の目標として、次世代通信への取り組みがある。現在は、PLCとインバータ間の通信として、Profibusを採用しているが、通信速度やデータ量において、物足りなくなっている。今後は、大容量で高速に通信できる仕組みへの対応が必要となってくるとされる。大容量高速通信が可能となれば、将来的にはAIを使った故障予知システムなども可能となる。今後も、更なる付加価値向上を目指し、安価で高性能なドライブ装置を提供し、社会の発展に貢献していきたい。

お問い合わせ先

電計事業本部 エンジニアリング事業部

電計エンジ1部

TEL. 093-288-5061

[メールの場合]:

more_information-denkei@tex.nipponsteel.com