

ものづくりのための企業内教育（職場内教育）

—パワーエレクトロニクス—

水口 拓弥*, 和田 礼, 畑田 研二, 出雲 宏行 (アルトナー)

田中 武 (広島工業大学)

Corporate Education for manufacturing (On-the-job training)

- Power Electronics -

Takuya Mizuguchi*, Rei Wada, Kennji Hatada, Hiroyuki Izumo, (Artner Co,Ltd)

Takeshi Tanaka, (Hiroshima Institute of Technology)

Artner Co, Ltd is currently depending on a variety of outsourcing system has been implemented as a high degree of technical assistance for completed of projects. "Making things" from it captures the essence of the whole until it has been customary in the design stage to construction stage of "making things" outside the conventional narrow range of preconceived ideas for the designers and the manufacturing. By the global financial crisis caused by bankruptcy of Lehman Brothers in September 2008, a great reform such as an increase in the level of clients' demand for engineers was provided in engineering outsourcing business which had been growing steadily until the time. We reported our training systems in response to the changes of clients' needs and constructed the system for training engineers meeting high demand levels of clients.

キーワード：ものづくり，企業内教育，技術者派遣，リーマンショック，パワーエレクトロニクス，インバータ，回路設計

(Keywords, Manufacturing, Corporate Education, Technician Dispatch, Bankruptcy of Lehman Brothers, Power Electronics, Inverter, Circuit Design)

1. はじめに

2008年9月15日アメリカの投資銀行であるリーマン・ブラザーズの破綻をきっかけに発生した世界同時不況は、世界的な消費の落ち込みや円高の影響により、日本の輸出産業に多大なダメージを与えた。この世界同時不況を経た現在、製造業においては以下に示す様々な情勢の変化に対応していく必要があることに異論はないであろう。

- (1) グローバル化による競争激化
- (2) 技術寿命の短縮化
- (3) 開発期間の短縮
- (4) 開発予算の削減・据置き
- (5) 予期せぬ外的要因
- (6) 先行き不透明

機械設計開発，電気・電子設計開発，ソフトウェア開発の3分野で技術支援を事業として営む株式会社アルトナー

(1) が属する常用型の技術者派遣サービス業界では、世界同

時不況後においても市場規模自体に大きな変化は発生していない。しかし、縮小傾向にある一般労働者派遣業界からの新規参入や、顧客となる製造業の技術者に対する要求レベルの高度化もあり、競争が激しくなっているのが実情である。

技術者派遣サービスでは、「採用力」「社員教育」「営業力」が競争のカギを握る。株式会社アルトナーでは、顧客である製造業の情勢変化やニーズの変化に対応すべく、組織変更や研修体制の再構築を実施し、これまで一定の成果を上げてきた⁽²⁾。

技術者派遣サービス業界の顧客ニーズの流れは、「若手即戦力技術者」である⁽²⁾。理工系の大学・大学院を卒業した若手技術者たちは、新入社員研修を履修した後に顧客で業務を開始する。しかし、現実として配属後すぐに新商品の設計・開発工程の中の上流工程（設計）に対応できるわけではなく、下流工程（評価）を経験しながら、徐々に上流工程（設計）に移行していくのが基本的な流れである。技術者派遣サービスを営む会社としては、この期間を短縮でき

る教育カリキュラムを構築することで、同業他社と差別化ができて会社の競争力をアップできる。

今回はこれらの背景の中で、特に新入社員研修を修了し、開発現場に配属した若手技術員を対象に、省エネルギー、スマートグリッド、ハイブリッド自動車など、近年特に需要の旺盛な「パワーエレクトロニクス」分野に焦点を絞り、若手技術者を早期に上流工程（設計）に対応できるレベルに育成する為の教育カリキュラムを提案する。

2. パワーエレクトロニクス教育体制の構築

(2.1) 設計業務配属に必要な要件

当社では所属する技術員を個々が持つ技術スキルに応じて E1～E5 までの 5 段階で格付けし、これをグレート⁽¹⁾と呼び管理している。E1 から E5 にかけて技術者の格付けは上がっていく。

各グレートには習得すべき技術スキル指標が設定されており、グレードは顧客から要求される技術力に対する指標ともなっている。

上流工程である設計業務への配属のためには、E1 に設定されている技術スキルが身に付いていることが最低限必要であり、E2 以上の技術スキルであることが望まれる。

若手技術者を設計業務に対応できるレベルに早期育成するためには、E1, E2 グレートに設定されている技術スキルに対し、教育する項目を選定し、教育方法を明確にする必要がある。そして、明確になった項目について短期間で集中して教育できるような教育計画が必要となる。

(1) 教育内容の決定

パワーエレクトロニクスは省エネルギー、スマートグリッド、ハイブリッド自動車など様々な分野で注目されている技術である。

パワーエレクトロニクスと言っても幅広く、設計配属までの限られた時間で全ての技術を取得する事は難しい。

そこでパワーエレクトロニクス分野でも、特に当社の顧客需要の多いインバータを選んだ。

そして、そのインバータの中でもハイブリッド電気自動車、エレベータ、電車など身近に利用され、イメージの持ち易いモータ制御用インバータに特化させ教育カリキュラムを作成する。

(2) 設計配属に必要な項目の明確化

パワーエレクトロニクス分野の設計配属のため、当社の技術スキル指標とインバータ設計のためのスキルを照し合せ、表 1 のように教育すべき項目についての明確化を行った。

表 1 は当社 E1, E2 グレードの技術レベル指標に、インバータ設計に必要な技術項目を対応させたものである。

インバータ設計に必要な技術は以下のように設定した。

- ①基本知識：パワーエレクトロニクス分野全般
- ②設計スキル：インバータに特化した回路設計

基本知識は幅広いニーズに対応出来るようパワーエレクトロニクス全般を網羅し、設計スキルは早期取得を目指し技術項目を絞り込んで教育を行う。

(3) 教育のためのインバータの捉え方

設計技術を教育するにあたり、インバータを以下の機能別に分類する。

- ①電源部
- ②制御部
- ③電力制御部

教育対象であるインバータの機能を分割し、段階的に教育を行うことにより、取り組むべき項目や目標が明確になる。若手技術者各々が進捗状況を把握できるため、技術スキルの向上を認識させる狙いがある。

表 1 教育項目
Table 1. Education item

	アルトナー 技術指標(抜粋)		パワーエレクトロニクス必要項目(大項目)	
設計に必要なスキル	□設計技術	□基本回路を応用した回路設計ができる	パワーエレクトロニクス回路の種類と使用方法	
		□回路各部の使用目的が読める	制御方法の種類と原理	
	□電気・電子理論に付いて理解し、設計に応用できる	□データシートから電気・電子部品の機能や特性を理解できる	インバータ回路の設計	
			既存インバータ回路の解析	
	□部品及び回路の評価検討(実験)ができる	□コンピュータ周辺インターフェースについての知識がある	インバータ回路の設計	
			パワーエレクトロニクスを使用したシステムの基本構成	
	□信頼性	□評価結果に対する不具合箇所を指摘できる	既存回路で使用されている部品の解析	
□技能	□測定器や信号源等を選定し、試験環境を構築できる	設計のための部品選定の方法		
		□担当する製品の回路図・仕様書等を見て動作確認・調整が行える	インバータキットを使用した回路動作検討と評価	
設計に必要な基本スキル	□設計技術	□基本的な電気・電子理論の知識がある	電力の変換、制御の基本方式	
		□基本的な電子部品・素子・ICの機能や特性を理解している	パワー半導体デバイスの機能、特性	
	□信頼性	□ノイズに関する基礎知識がある	電子回路、スイッチング動作によるノイズの発生と対策	
			□基本的な電気・電子回路の知識がある	パワースイッチング回路の基本性質
	□技能	□開発ツールが使える	基本的な使用方法、選定方法	
			□基本測定器を使って正しい測定ができる	回路図CADの使用法
	□測定器や信号源等を選定し、試験環境を構築できる	□製品を組み立てることができる	オシロスコープ、マルチメータ	
			□作業書に基づいて担当する製品の動作確認・調整・試験ができる	製品の構成、組立てに対する基本的な知識
				動作確認試験、信頼性試験に対する知識



図1 インバータの構成図

Fig.1. Diagram of the inverter

〈2・2〉 V字型教育

早期育成を段階的に行うため、図2のような教育を行う方法を考えこれを「V字型教育」と呼称する。

このV字型教育は上流から下流に進むほど物理的なもの（インバータ）に近くなり、左側から右側に進むほど実践的な内容に推移していく教育カリキュラムであり、フェーズごとに基礎、応用と区分けして段階的な教育を行う。

(1) フェーズ1（上流から基本を学習）

フェーズ1は基礎を学ぶフェーズと位置付けた。表1で明確にしたインバータ設計に必要な教育項目に基づき、パワーエレクトロニクス分野全般、インバータの電源部、制御部、電力制御部と段階的に基礎を教育する。

(a) パワーエレクトロニクス分野全般の基礎知識

パワーエレクトロニクス分野全般の基礎教育は、今後若手社員育成の教育資料として使える教育資料の作成を行う。

教育資料は各教育対象者が担当項目を持ち、教育資料作りを行う。教育資料は表2に示す内容で作成しており、パワーエレクトロニクス分野全般だけでなく、抵抗やコンデンサなど基本的な部品まで技術者として必要な基礎知識の習得を求める。

教育資料の作成には納期（作成期限）を設け、完成した資料は他の担当者を対象にプレゼンテーションを行う。プレゼンテーションを行うことにより資料内容の向上を図ると共に、他者が理解できる資料の作り方、表現の方法などのスキル向上を目指す。

また、納期の設定は社会人として必要な納期意識、業務調整や他者との協調性についての認識を深める狙いがある。

表2 資料作成内容

Table 2. Content material creation

フェーズ1-1 パワーエレクトロニクスの基礎	フェーズ1-2 パワーエレクトロニクス回路
1/パワーエレクトロニクスとは？	1/パワーエレクトロニクス回路
1/パワーエレクトロニクスの意味と特徴	1/交流-直流変換回路
2/パワーエレクトロニクス応用機器と特徴	2/直流-交流変換回路
3/電力変換と制御	3/直流-直流変換回路
4/スイッチによる電力変換と制御	4/交流-交流変換回路
5/電力の変換の基本方式	2/パワーエレクトロニクスの応用
6/電力の制御の基本方式	1/電力変換器の構成
7/電気エネルギー蓄積素子の働き	2/交流制御の基本
8/理想スイッチとしてのパワー半導体デバイス	3/自己帰弧形パワー半導体デバイス制御の基本
2/パワースイッチング回路の基本性質	4/多変システム
1/電気回路の双対性	5/電動機制御システムの基本構成
2/電力変換回路の双対性	6/電動機、負荷の特徴
3/電力変換回路におけるリアクトルの作用	7/電動機制御システムの基本構成
4/電力変換回路におけるコンデンサの作用	8/電力応用の例
5/電気回路の電圧と電流の実行値と電力	
6/電圧と電流および電力の平均値	
7/コンデンサと過渡現象	
8/リアクトルと過渡現象	
9/共振回路の過渡現象	
10/ひずみ電気回路の取り扱い	
11/電源制御の基本方式	
3/パワー半導体デバイス	

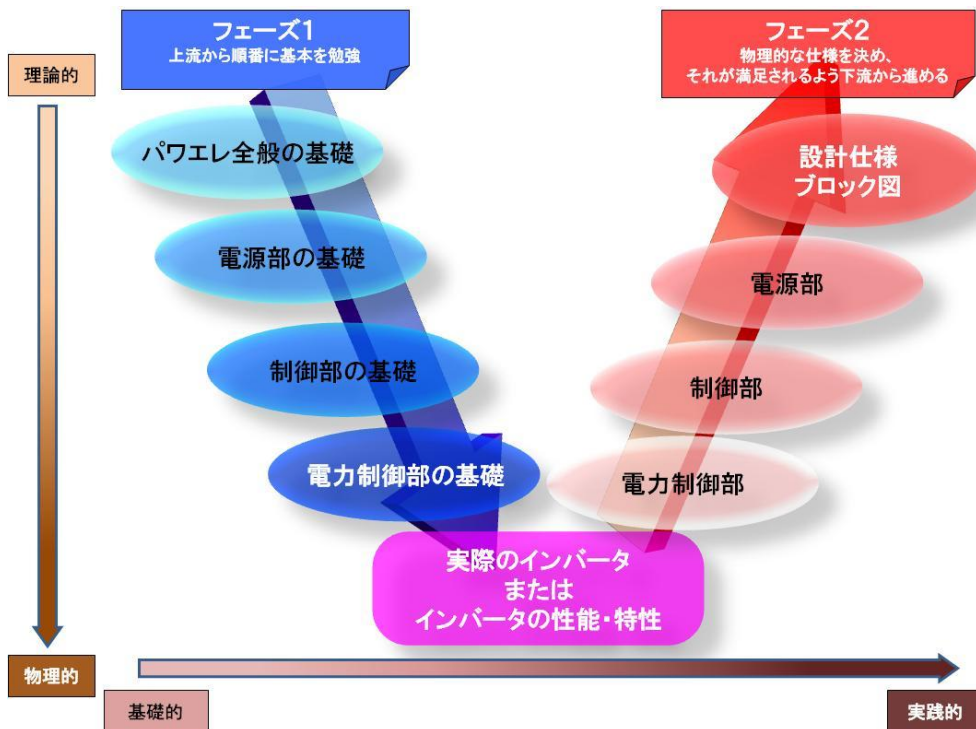


図2 V字型教育の構図

Fig.2. V-shaped education

(b) 各機能の基礎（電源部、制御部、電力制御部）

各機能についても、(a)パワーエレクトロニクス分野全般の基礎知識と同様に教育資料を作成する。ただし、各機能の教育資料はインバータに特化させインバータ設計に使われる回路や機能、電子部品について作成する。また、回路図作成のルールや部品の選定方法など設計に必要な基礎知識も教育する。

(2) フェーズ2（物理的な仕様を決め下流から設計）

フェーズ2は、フェーズ1で得た基礎知識を基に、実際にインバータの回路図を作成し、設計を行うフェーズと位置付ける。この教育カリキュラムは若手技術者の設計業務への早期配属が目的であるため、各機能である電源部、制御部、電力制御部について電子回路に注目して教育を行う。

(a) フェーズ2の進め方

初めにインバータの物理的仕様の決定を行う。

インバータの物理的仕様とは、図1にあるように実際にインバータに入ってくる入力（電源電圧やインバータを操作するための信号など）やインバータからの出力であるが、ここではインバータの運転動作や機能も仕様として定義する。インバータの物理的仕様を初めに決定すると設定対象が明確になり、インバータ設計に取り入れる機能の決定や主要部品の選定が行いやすくなる。

次にインバータの物理的仕様を満足できるような回路図を作成する。回路図は出力に近い電子回路から、以下の流れで順番に行う。

- ① 設計するインバータの物理的仕様を決める
- ② ①の仕様を満足する電力制御部の電子回路を設計
- ③ ②の機能を満足する制御部の電子回路を設計
- ④ ③の機能を満足する電源部の電子回路を設計
- ⑤ ①から④までを満足する設計仕様書を作成

このように実際の設計とは逆の手順で、下流の仕様や機能を満足するよう順々に上流へ設計を進めてくのがフェーズ2である。

下流から上流へと本来の設計とは逆の手順で設計を行うことにより設計すべき事項が絞られ、回路設計自体のイメージが掴みやすくなる。これにより教育手順の簡略化、設計時間の短縮が期待できる。

また、物理的な仕様の条件を絞り込むことにより若手技術者各自に合わせた設計難易度のコントロールを行い個々の技術レベルに合わせた教育が可能となる。

(b) インバータの物理的仕様の決定

インバータの物理的仕様は、市販のインバータを参考に、そのインバータの取扱説明書から読み取れる物理的仕様を採用した。市販のインバータから物理的仕様を抜き出すことにより、設計するインバータに必要な機能のピックアップ、回路図作成時の回路や使用部品の参考に出来る。また、自身の作成した回路図と市販インバータの回路を比べることにより、製品としての設計技術や自身との技術の差を確認できる。

物理的仕様として参考としたインバータは次のような品である。

- ～簡単・小型インバータ～
- 入力電圧：三相 200V クラス
- 出力電圧：三相 200V～240V (50/60Hz)
- 出力容量：1.0 kVA
- 出力電流：2.4A
- 適用モータ出力：0.4 kW

この市販インバータの取扱説明書から表3のように、物理的仕様を決定した。この物理的仕様をもとに電力制御部、制御部、電源部の電子回路設計を行う。

表3 インバータの物理的仕様

Table 3. Physical specification of an inverter

インバータの物理的仕様(抜粋)	
項目	内容
入力電圧クラス	三相200V
適用モータ容量	0.1kW
機務定格	1.出力容量:0.3kVA 2.出力電流:0.7A 3.出力電圧:三相200V~240V
電源	1.電圧・周波数:三相200V~240V-50/60Hz
冷却構造	自冷
制御方式	正弦波PWM方式
出力電圧範囲	電源電圧補正で50~240Vの範囲で設定可能 ※最大出力電圧は、入力電圧電圧と同じ
出力周波数範囲	0.1~400.0Hz、出荷時は0.5~80Hzに設定、最高周波数(30~400Hz)調整可能
PWMキャリア周波数	2K~16KHzで調整可能(標準出荷設定:12kHz)
入力端子機能 (プログラマブル設定)	正転/逆転信号、ジョギング運転信号、運転準備信号、多段運転信号、リセット信号等、約60種類の機能から選択し、5個の入力端子に割り付け可能。
出力端子機能 (プログラマブル設定)	周波数上限/下限リミット信号出力、低速検出信号出力、指定速度到達信号出力、故障信号出力等、約40種類の機能から選択
故障検出信号	1c接点の出力 ※リレー接点出力は、振動や衝撃などの外的要因により、チャタリング(接点の瞬時閉鎖)が発生する
保護機能	保護機能ストール防止、カレントリミット、過電流、出力短絡、過電圧、過電圧制限、不足電圧、地絡検出、入力欠相、出力欠相、電子サーマルによる過負荷、始動時アーム過電流、始動時負荷側過電流、過トルク、低電流、過熱、累積稼働時間、寿命アラーム、非常停止、各種プリアラーム
リセット	パネルリセット/外部信号リセット/電源リセット。トリップ状態の保持とクリアの設定
モニタ機能	出力周波数、周波数指令、正転/逆転、出力電流、入力電圧(直流部検出)、出力電圧、トルク、トルク電流、インバータ負荷率、入力電力、出力電力、入力端子情報、出力端子情報、入力端子のロジック設定
周波数計用出力	メータ用アナログ出力:1mAdeフルスケールの直流電流計 0~20mA(4~20mA)出力:直流電流計(許容負荷抵抗:750Ω以下) 0~10V出力:直流電圧計(許容負荷抵抗:1kΩ以上)、分解能:最大1/255
4桁7セグメントLED	周波数表示、警報表示、状態表示、フリー単位表示
点灯表示	RUNランプ、MONランプ、PRランプ、%ランプ、Hzランプでインバータの運転状態などを点灯にて表示
使用温度	-10~+60℃
保存温度、相対湿度	-25~+70℃ 5%~95%(結露および蒸気のないこと)

(3) 実践力アップの為の工夫

フェーズ1, 2共に, パワーエレクトロニクスやインバータの基礎知識, 物理的仕様からの回路図の作成とインバータ設計について進めてきた。

しかし, いかに理論を理解していても実際の電子回路設計では技術者の経験や設計ノウハウなどが多く存在し, 直ちに優れた電子回路を設計する事は難しい。

そこで経験による差を少しでも埋めるため, 株式会社アリテック⁽⁵⁾のインバータキットを用いて教育を行う。

アリテック製インバータキットを教育に用いて実際の動作を確認することにより, 基礎教育では掴みづらい実際の波形の動きや波形鈍り, ノイズの影響など実際の基板で起こる現象を確認でき, 基板を確認することにより設計ノウハウを知ることが出来る。

以下は期待される事項の一例である。

- ・理論に対する実際の回路挙動確認が出来る
- ・波形や制御状態の確認が出来る
- ・設計ノウハウの参考, 蓄積が出来る
- ・実際の基板を見ると設計イメージが明確化になる
- ・使用部品や部品構成, 性能, 基板形状を参考に出来る
- ・電子回路や役割を参考に出来る など

また, 電子部品の半田付け, 製品の組立てなどの実践的な項目の教育も若手技術者の早期育成を目指すには必要不可欠であり, これらもインバータキットを製作することにより教育する。 図3がインバータキットである。

インバータキットは, インバータを用いて太陽電池により発電された電気を効率よく蓄電するための「蓄電タワー」である。更に, このインバータキットはユニットで形成されておりユニットを変更する事で様々な用途に対応できるインバータキットを利用することにより電力変換や変調,

制御方法を確認し, キットの組立ても自ら行うことにより半田付け技術や製品の組立て技術の向上を目指す。

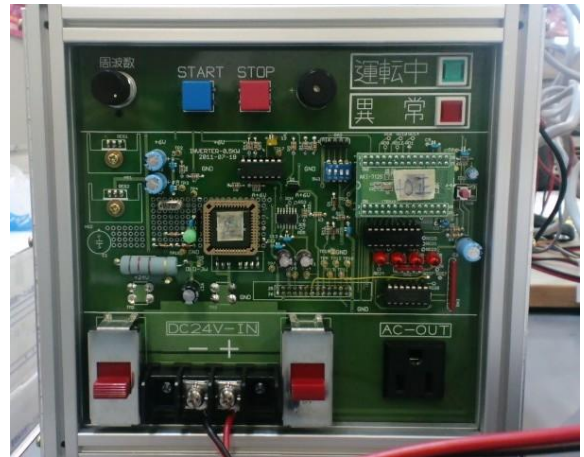


図3 インバータキット

Fig.3. Inverter kit

3. 教育計画の立案

〈3・1〉 個別教育プランの作成

若手技術者を早期に設計業務に対応できるレベルへ育成する為には, 教育の内容も重要ではあるが教育に要する時間も重要である。

通常, 若手技術者は3年程度の実務経験の後, 設計業務へ移行する。

しかし, 今回の教育計画では移行までの期間を1年と設定した。表4が作成した教育計画表である。

表4 個別教育プラン

Table 4 Individualized education plan

対象	要望項目	研修内容	テキスト	活動時間	小項目	到達スキル	2012年度					2013年度					要望項目に対する習得内容と成果								
							12	1	2	3	4	5	6	7	8	9		10	11						
チーム名	INVに関する技術の習得および設計者としての基礎力の向上	・INV教育資料の作成 ・市販インバータ分解による構造、使用部品、回路の学習 ・キットを組み立てる半田技術の向上、回路学習 ・電子回路の理解と製図	個人別に別途設定	個人別に別途設定	インバータ教育資料の作成	資料の完成により基礎知識が習得される																			
					電子回路基礎	電子回路の基本を習得する																			
					市販インバータの分解	システム、構造の理解、知識を得る																			
					分解したインバータの基板解析	基板の部品や回路について理解し、設計力を付ける																			
					キット組立て	半田技術の向上および、組立て、回路の理解力向上																			
					キットを利用したインバータ検証	インバータキットを利用して実際に動かし理解を深める																			
					電力制御部電子回路設計	電力制御部電子回路の設計技術取得																			
					制御部電子回路設計	制御部電子回路設計の設計技術取得																			
					電圧部電子回路設計	電圧部電子回路設計の設計技術取得																			
					設計仕様書の作成	設計仕様書を理解し、読取る技術の習得																			
					4半期報告																				
					インバータ教育資料の作成	資料の完成により基礎知識が習得される																			
					電子回路基礎	電子回路の基本を習得する																			
					市販インバータの分解	システム、構造の理解、知識を得る																			
					分解したインバータの基板解析	基板の部品や回路について理解し、設計力を付ける																			
					キット組立て	半田技術の向上および、組立て、回路の理解力向上																			
					キットを利用したインバータ検証	インバータキットを利用して実際に動かし理解を深める																			
					電力制御部電子回路設計	電力制御部電子回路の設計技術取得																			
					制御部電子回路設計	制御部電子回路設計の設計技術取得																			
					電圧部電子回路設計	電圧部電子回路設計の設計技術取得																			
設計仕様書の作成	設計仕様書を理解し、読取る技術の習得																								
4半期報告																									

この計画表は習得する技術に対し、具体的な習得目標（習得したと言える到達点）、年間の教育スケジュール、進捗状況を書き込むものである。

年間の教育スケジュールは若手技術者が立案し、教育担当者⁽²⁾が承認する。若手技術者がスケジュールを立案する事により、スケジュール管理能力、計画力、業務調整力など社会人として必要な技術の向上を狙っている。

〈3・2〉キャリアサポート講座⁽¹⁾

当社では技術者教育サポート部門のHR事業本部⁽¹⁾が主体となり、実務で得られる技術だけでは不足や偏りが出てしまう項目についてサポートするキャリアサポート講座を開講している。

実際のインバータ設計者による講座、ソフトや制御技術など立案した教育計画では不足する項目についてキャリアサポート講座を利用し補っていく。

4. おわりに

リーマン・ブラザーズの破綻に起因して技術者派遣サービス業界の顧客ニーズは、「若手即戦力技術者」に変化してきた。この流れに対応すべく業界では、若手技術者の早期育成が課題となっている。

今回の発表では、若手技術者の早期設計業務配属のための教育カリキュラム立案について発表した。

次の機会では進捗状況について発表する。

早期育成教育は既に教育計画に基づき実施中である。

徐々にではあるが教育の成果が見え始めており、技術者としての成長が見られる。

然しながら、技術だけが成長しても真の技術者とは言い難い。当社の社是にもある「精神の追及」即ち、人間としての成長、内面の成長が伴ってこそ、真の技術者となりえるのである。

教育を立案、実施するにあたり、人づくりを常に念頭に置き教育を進めていく所存である。

謝辞

若手技術者育成のための教育カリキュラム立案に当たりまして、広島工業大学 田中武先生に御教授頂きましたこと改めて御礼申し上げます。

-
- (1) <http://www.artner.co.jp/index.html>
 - (2) 出雲宏行, 水口拓弥, 和田礼, 畑田研二, 田中武:「ものづくりのための企業内教育—リーマンショック後の研修体制—」, 電気学会教育フロンティア研究会資料, FIE-12-023, pp.21-26,(2012)
 - (3) 出雲宏行, 和田礼, 田中武:「ものづくりのための企業内教育 (半導体関連)—教材作成—」, 電気学会電子回路研究会資料, ECT-10-010, pp.51-55(2010)
 - (4) 今川隆司, 畑田研二, 和田礼, 出雲宏行, 上野修, 田中武:「ものづくりのための企業内教育 (新入社員研修) —新入社員の傾向—」, FIE-12-017, pp.67-70(2012)
 - (5) <http://www.aritec.com/company.html>