

# 卒業研究を通しての地元企業支援の試み

ポリテクセンター宮城 テクニカル・オペレーション科 青柳 幸四郎  
 (宮城職業能力開発促進センター)

## 1. はじめに

能力開発を担当する各訓練施設にとって、長期・短期等の訓練課程への応募者の確保や能力開発セミナーへの参加者の増大を図ることは、当面する重要な課題の一つである。そのためには、まず、訓練施設が存在や事業内容等を広く知ってもらうことが必要だが、直接的には地元の企業等との接触の機会をできるだけ多くつくり、それによって相互の信頼関係を構築していく地道な努力とその積み重ねも大切であろう。

その後者の例として、以前、ポリテクカレッジ宮城に在席していた当時取り組んだ卒業研究が、企業との信頼関係構築にも役立ったと思われるので、その一事例を以下に紹介してみたい。

## 2. 企業との接触の機会づくり

ポリテクカレッジにおける長期専門課程では、二年時に約20単位の卒業研究がカリキュラムに組み込まれる。各指導教官は数名ずつの学生を担当し、彼らに適当なテーマを与えて1年間指導に当たる。このテーマの選定は、例年、指導教官の頭を悩ます。

一方、ポリテクカレッジには地元企業から技術的課題の相談や問い合わせが頻繁に舞い込む。そこで、これらの中の適当な課題を卒業研究のテーマに採用し、企業との信頼関係の形成や学生の生産現場体験などに役立たせたいと考えた。

持ち込まれる相談の中には、こちらからの持ち出し(苦勞)ばかりが多く、見返り(個人の成果につ

ながるもの)が少ないものもないとはいえない。しかし、これらについても、相手側の役に立てば本望と割り切って真摯に受け止め、誠意を尽くして対応に当たることが望まれる。なぜなら、これによって施設や本人自身への信頼感が醸成され、いずれ、何らかの形で返ってくるはずだから...

そのまま立ち消えになってしまうか、企業との信頼関係まで進むかの分かれ道は、まさにここにあるものとする。

## 3. 技術支援の具体例

### 3.1 卒業研究テーマとして決まるまでの経緯

卒業研究テーマに取り上げ、最初に実施したのは1995年度で、宮城県北部に工場を持つI社の「自転車タイヤ用加硫機の耐久性向上」の課題である。以下、この事例を中心に述べる。

まず、企業側から校の窓口である開発援助課の方に現場の問題に関する相談・援助の問い合わせが入り、2～3人の教官を経由した後、当方に順番が回ってきた。内容が生産現場設備に関するものだったので、とにかく一度現場を見せてもらい、具体的な対応(誰が、どのように...など)はその後で決めることにした。幸い、1回の現場見学によってどう対応したらよいかなど大概のことは把握できたので、次いで問題を解決するためのアプローチの仕方や今後の進め方等の打ち合わせを行い、企業側および当方でそれぞれ準備したり担当したりする分担内容を確認し合った。なお、当方で担当する分については卒業研究として実施したい旨を説明し、企業側の了

解を得た。校に戻り、学生側の納得を得たうえで卒業研究のテーマとして採用した。

### 3.2 検討課題の整理および役割分担

今回持ち込まれた相談は、昼夜連続して稼働している数十台の外国製の自転車タイヤ用加硫機に関するものであった。加硫機は温間状態でタイヤに圧力を加えながら加硫するプレス機的一种で、その圧力が反作用となって機械に荷重が加わる仕組みになっている。

I社側からの相談内容は「機械を長期間使用していると、写真1に示す機械上部のビームフレームやそれを支えるアーム等に亀裂が生じたり、折れたりするトラブルが定常的に発生するので、これを事前に予知したい」というもので、工場では、これまで機械の破損箇所をいち早く察知し、溶接などで補修しながら使用期間の延長を図ってきた。

この相談内容からすれば、非破壊検査や計装関係の専門知識を有する者の方が適任ではないかと考えられた。しかし、とりあえず現場を見せてもらい説明を聞いた。そして、当方から「破壊がなぜ生じるのか、また、それを防止する手段はないのかを調べた後、次の段階で予知法の検討に入るという手順はどうか」と提案した。同時に、結果をいつ頃までにほしいのかの緊急度についても質問した。それに対して「破壊を防止できるのなら、その方がさらに好ましいし、時間的にも、本年度の職場の改善活動の一貫なので余裕が見込める」との返答であった。

それで、機械の構造上の強度に関する調査・検討から開始することにした。

整理された課題の内容、概略のスケジュールおよび分担を表1に示す。同表の の課題は、機械の強度を検討する前提となる最大荷重を把握するためのもので、学生の現場実験となる。

概略の荷重値は、圧力源として使用しているエアの圧力とシリンダーの直径から計算できる。その結果は、約40トンとなり、2本のタイヤを同時にプレスする通常作業では、最大80トン前後の荷重が機械に加わることが見込まれた。しかし、この値は、解析の前提となる基本値であり、できるだけ正確な数値が必要だと考え、実測することにしたものである。



写真1 タイヤ用加硫機の外観

表1 検討課題およびスケジュール

検討項目	年間のスケジュール	担当 <sup>1)</sup>
正確なプレス荷重値の測定	10月～12月	ポリテクカレッジ (I社)
必要最小限のプレス条件の調査	10月～11月	I社
作業中(リアルタイム)の荷重値把握法の検討	10月～12月	I社(ポリテクカレッジ)
ビームフレーム、シャフト等に生じる応力の解析	11月～12月	ポリテクカレッジ
破壊原因の究明	11月～12月	ポリテクカレッジ
防止対策検討	11月～12月	I社, ポリテクカレッジ
まとめ・卒研発表会	12月	ポリテクカレッジ

注1) 担当欄の( )内は、補佐的に担当することを示す

### 3.3 検討方法および機器の準備

前記の表 1 に整理された各課題の検討を進めるためには、以下に示すような装置や機器が必要となる。

- ロードセル（容量100トン，2個）
- 動ひずみ測定装置，記録計（一式）
- 万能引っ張り試験機（ロードセル校正に使用）
- 応力解析装置（有限要素法解析ソフト）
- ひずみゲージ，接着剤，リード線，半田ごて等の消耗品

これらのうち、～ は、長期課程カリキュラムの中の「機械工学実験」で使用される機器として校に備えられているので、それらを使用することができる。

100トン容量のロードセル2個については、市販品もあり工場側で準備することも検討したが、今回は時間的にも余裕があり、卒業研究の一貫として学生に製作させることにした。

仮に、ロードセルなどのひずみ測定装置一式を、工場側で準備するとして費用を概算してみると、合計で200～300万円はかかる。今回の調査が終了すれ

ば、その後の使用予定がほとんど見込めない工場側としては、これらの購入に消極的にならざるを得ないのは当然のことであろう。

なお、校には、これらの機器や装置が備えられていればこそ、客側も足を運んでくれるのだということも認識すべきである。

ロードセルの製作には、2～3週間を要した。図1に、学生らが製作した自家製のロードセルの校正曲線図とそのゲージ結線図を示した。直線性やヒステリシスなどの基本特性も良く、今回の使用目的には十分に対応可能な製品が得られた。

それから、今回使用した動ひずみ測定装置など一式は共和電業製、また、有限要素法（FEM）解析ソフトはラズナ社のApplied Structureである。

### 3.4 プレス荷重の測定

加硫機の構造部の名称とプレス荷重測定時の機器等の配置状況を図2に示した。

タイヤが置かれる左右2カ所の金型部に、ロードセルを設置した。また、アームの数カ所にはストレインゲージを貼り付けた。これは、後の理論解析と比較するひずみを実測するためのものである。

また、アームの正面には、ダイヤルゲージ式伸び計

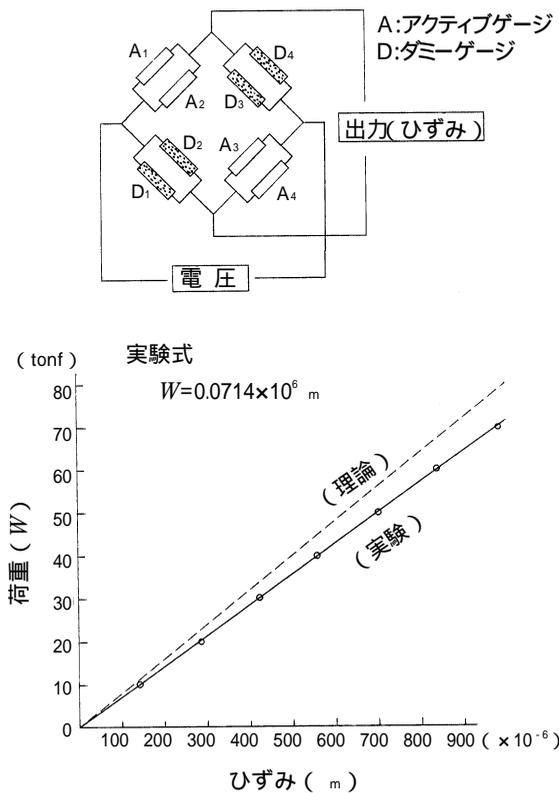


図1 ロードセルの校正曲線とゲージ結線図

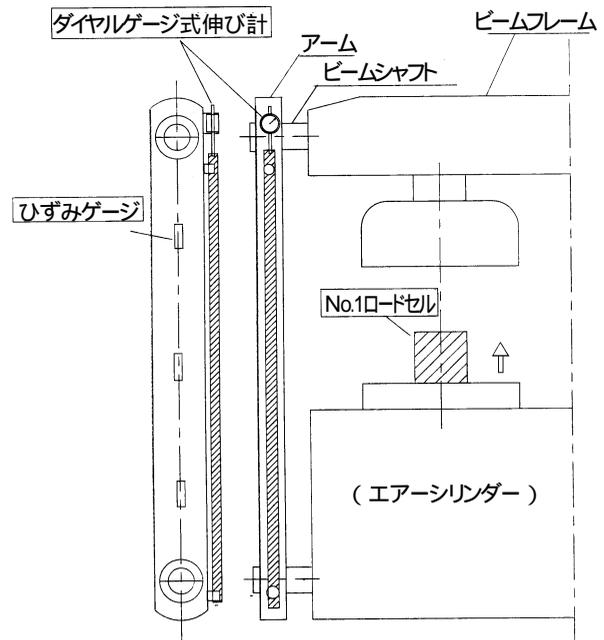


図2 構造部名称と機器等の設置説明図

表2 プレス荷重の測定結果

エア圧力 ( <i>p</i> ) [kg/cm <sup>2</sup> ]	ロードセルの読み (プレス荷重: <i>W</i> )		ダイヤルゲージの読み ( )	
	左側 [tonf]	右側 [tonf]	左側 [mm]	右側 [mm]
8	25.3	26.1	ミス	0.23
9	27.5	28.0	0.21	0.27
10	32.0	32.3	0.28	0.31

計が取り付けられている。これは作業者が上下蓋の締め込み量を加減する際の目安に使用するために、以前から設置されているものである。

学生らが、諸準備を進めている間に、工場側では、表1の課題、すなわち「良好な製品が安定して得られる必要最小限の締め込み条件」を調査した。その結果、これまでは不良品の発生ミスを防ぐ目的で強く締めすぎていたことが判明した。特に、工場全体のエアの使用量が減少する夜間の作業では、エア圧力が上昇するため機械には著しく大きな荷重が加わり、これが早期破損に影響を及ぼしていた可能性が高く、直ちに作業条件の変更、改善がなされた。

次に、現場での荷重測定に進んだ。基本的な作業条件を上記の変更後の条件に合わせ、エア圧力については、昼間と夜間における作業時のそれぞれの水準を考慮し、8～10kg/cm<sup>2</sup>に変えた。

測定結果を表2に示す。表中のロードセルの読みが、左右のタイヤにそれぞれ加わるプレス荷重(重量トン: tonf)を表している。

これらを見ると、荷重値はエア圧力によって変わり、圧力を最も上げた状態で左右各32トン強、合計で最大65トン弱が機械に加わることがわかる。これは、前にエア圧力とシリンダー径から計算した荷重値に比べると20%ほど小さい。この理由としては、シリンダー等における機械的損失やエア漏れなどが影響しているものと考えられる。したがって、正確な値を知るには、やはり実測が欠かせないことがわかる。

また、表2には、ダイヤルゲージ式伸び計で同時に読み取った値も記載してある。この活用法につ

いて検討した。

この値は、アームに取り付けた棒の伸びを示しており、これを棒の支持区間の長さで割ればひずみとなる。同時に、これはアームに生じるひずみを表しており、これを用いてアームにかかる荷重値を知ることができる。

まず、式(1)で、ダイヤルゲージの読み、すなわち棒の伸びから求められる計算荷重  $W_{cal}$  を求める。次に、この  $W_{cal}$  とロードセル荷重  $W$  との相対関係を調べ、修正係数を求める。

この方法で実際に作成したのが、式(2)で示される荷重  $W$  [tonf] を求める実験式である。

$$W_{cal} = EA \times 10^{-3} = EA(\Delta / L) \times 10^{-3} \quad \dots(1)$$

$$W = 1.1 W_{cal} \quad \dots(2)$$

ここで、

$\Delta$ : 棒の伸び [cm]

$L$ : 棒の支持区間の長さ [cm]

$\epsilon$ : ひずみ (-)

$A$ : アームの横断面積 [cm<sup>2</sup>]

$E$ : ヤング率 (鋼で  $2.05 \times 10^6$  kg/cm<sup>2</sup>)

この式は、 $\epsilon$  以外はすべて既知の値であり、この  $\epsilon$ 、すなわちダイヤルゲージの読みをとることによって、式から荷重値を推定できることを示している。

したがって、この方法を、前掲の表1の課題である「作業中にリアルタイムで荷重値を把握する方法」として採用できることがわかった。

市販のロードセル等を機械の中に組み込んで測定する本格的な方法を採用すれば、自動記録なども可能となり好ましい。しかし、既設の機械の構造上、取り付け方がきわめて難しいうえ、機械台数も多いので莫大な費用がかかる。したがって、採算性の点からみても実現の可能性はほとんどない。これに対し、前述の方法は、安価で、かつ、取り扱いも簡便で、次善の策として評価されるべきものであろう。

### 3.5 加硫機構造の強度評価

荷重の測定によって、機械には最大65トンのプレス荷重が作用することが明らかになったので、これ

を前提に加硫機の強度の検討を進めた。

検討は、これまで破壊が生じたことのある箇所を主体にして、ビームフレーム部、ビームシャフト部（フレームとアームの結合軸）および、アームの定常部と結合部について行った（各部名称については、前掲の図2を参照のこと）。これらの構造部材には、いずれもSS400クラスを使用しており、材料の強さはこれを前提とした。

解析方法は、はり構造としての曲げモーメントを計算し、それから曲げ応力を求める材料力学計算<sup>1)</sup>とFEMによって各部に生じる応力（ミーゼスの応力）を求める方法の2つを採用した。

まず、前者の方法で、のビームフレームについて曲げモーメントを計算すると、1780tonf・cmとなった。これからフレームの断面係数を介して曲げ応力を求めると、約620kgf/cm<sup>2</sup>となり、前記の材料の強さを前提に考えると、許容応力の範囲内にあるとみることができた。また、他の、の各構造部についても計算を試みたが、同様の結論が得られた（ただし、いずれの場合も応力集中は考慮していない）。

次に、応力集中による疲労破壊について検討を進めた。長期間使用中に亀裂等が発生して破壊に至るといふ事実から考えて、疲労破壊の可能性がきわめて高い。

応力集中時の最大応力は、FEMによって求める

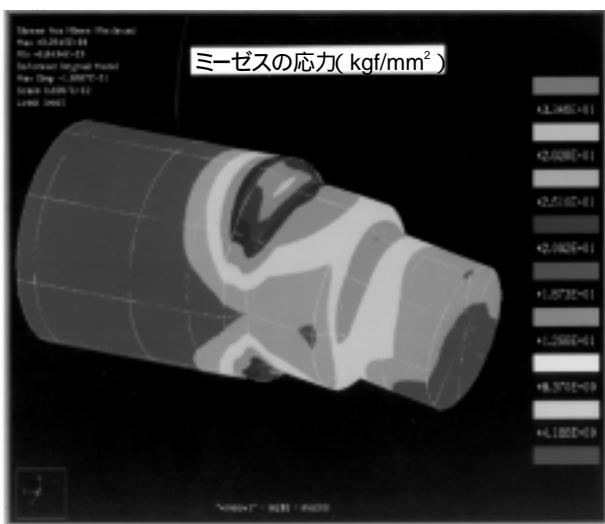


図3 ビームシャフトの段付き部に生じる応力

ことにし、破壊が発生する部分を主体にして別々に応力分布状況を解析した。まず、のシャフトの段付き部について解析した結果、最大2930kgf/cm<sup>2</sup>の応力が発生することがわかった。図3に、この応力分布状況を示した。

この材料の抗張力を4100kgf/cm<sup>2</sup>とし、平滑部での疲労限を求めると、約2200kgf/cm<sup>2</sup>となる<sup>2)</sup>。さらに、応力集中を伴う段付き部の疲労限を推定してみると、1071kgf/cm<sup>2</sup>の結果が得られた。すなわち、最大応力値はこの疲労限の2倍を超え、段付き部から疲労破壊が生じても不思議はないものと結論される。

他の部分についても解析を試みたところ、同様の結論が得られ、破損の原因は、応力集中による疲労破壊であると結論づけることができた。

### 3.6 工場における対応策について

前記の表1のの調査結果を受けて、初期設定の締め込み条件が変更され、プレス荷重は50トン前後まで減少した。したがって、その後の応力条件は、上記の検討結果よりはいくぶん改善されているはずである。しかし、それだけでは十分とはいいがたく、何らかの対応が必要であろうと考えた。それで、いくつかの具体的な改善策について、FEM解析も交えながら検討を加え提案した。

例えば、ビームシャフトについては、段付き部の応力集中を緩和するために、軸径を増し段差を減らすこと。なお、これらの改善に限界がある場合は材料の高強度化も検討すること。アームの穴周辺部については、板幅や厚みを可能な限り増し応力集中の軽減を図ること。さらに、ビームフレーム部については、板の厚みを増すことおよび応力集中源となりやすい溶接欠陥を生じさせない慎重な補修の仕方をすることなどである。

これらの改善を実施することによって補修間隔を大幅に延ばすことができるだけでなく、さらには、破損を永久に防止することも不可能ではないものと思われる。



I社，グループ活動の現場会議室にて  
写真2 本報告の卒研担当メンバー（1995年度）

表3 企業支援と関わりのある卒業研究の例

年度	課題例	企業
1995	今回報告	I社
1996	コルゲート管・穴加工機の軸折損防止	I社
	立体駐車場モデル実験とモーション解析	N社
1997	パラレルインデックス軸折損原因	S社
	非対称形材の曲げ成形	N社

#### 4．生産現場の問題を取り上げるうえでの留意点

以上のような検討結果をもとに，企業側との報告会を持ち，今回の技術支援を終了した。また，学生らは，これらの結果を整理し，さらに詳細な検討を加え取りまとめて，年度末に開催される卒業研究発表会で報告した<sup>3)</sup>。

現場で発生するトラブルは，通常複雑に絡み合っている場合が多い。そのため，幅広い専門知識を身につけていないと，何かが問題だということはわかっていても具体的な対応の仕方がわからない。

したがって，校に相談に訪れた場合，当方の対応の仕方としては，単に話を聞くだけでなく，できるだけ現場に赴き（必要ならチームを組んで），実態をよく見て担当者に疑問点を問いただし，できるだけ正確に事態を把握することが必要となる。そのうえで課題を整理し，今後の検討の進め方，すなわち，解決策を得るために必要な調査項目，機器，概算の

費用，所要期間などを総合的にアドバイスすることが望ましい。

それから，生産現場は時間との戦いでもあるということを確認する必要がある。問題の解決にせよと長期間かかるようでは役に立たない。この観点からみると，「1年間をかける卒業研究で企業の問題を手がけるのはどうなのか」という疑問が出てくるかもしれない。しかし，これについては，企業が緊急に必要とする部分の検討を最優先して行い，中間段階でも情報を提供しながら，その裏づけや確認のためのデータ採取は，スケジュールに沿って計画的に行うようにすることによって，大抵は解決できるようである。

表3に，これまで手がけた企業との関わりのある卒業研究テーマの一覧を示した。

例えば，同表の，S社の例などは，上述の時間的配慮も必要とした課題であった。また，同表の1996年度のI社に関する課題は，同社の別工場から，翌年度新たに要請されたものである。このときは窓口を通さず直接当方に話があり，窓口には事後に承認をうかがう報告となった。一度ルートができあがると，次々と情報が舞い込むだけでなく，企業との共同作業もきわめてやりやすくなる。

#### 5．おわりに

企業側の協力も得ながら，共同で課題の調査・研究に取り組み，幸いにも，解決策をアドバイスできるところまで進めることができた。

学生らにとっても，生産現場の体験や問題の科学的解決の仕方などを学ぶうえで，有益な経験となったはずである。また，その後，能力開発セミナーへの参加などで協力をいただくこともあり，地元企業との信頼関係の大切さ，ありがたさを実感した。

最後に，本報告に関わったI社の方々，卒研のメンバー諸君に感謝する次第です。

#### 参考文献

- 1) 例えば，斉藤 渥・平井憲雄：詳解「材料力学演習（下）」，共立出版。
- 2) 石橋 正：「金属の疲労と破壊の防止」，養賢堂。
- 3) 1995年度ポリテクカレッジ宮城「卒業研究報告」（金井，菊地，斯波，渋谷，高橋）