

耐衝撃性に優れた タッチパネル搭載液晶表示装置

寺元 弘* 吉本崇広**
森 明博*
森井康裕*

Impact Shock Resistible LCD Equipped with Touch Panel

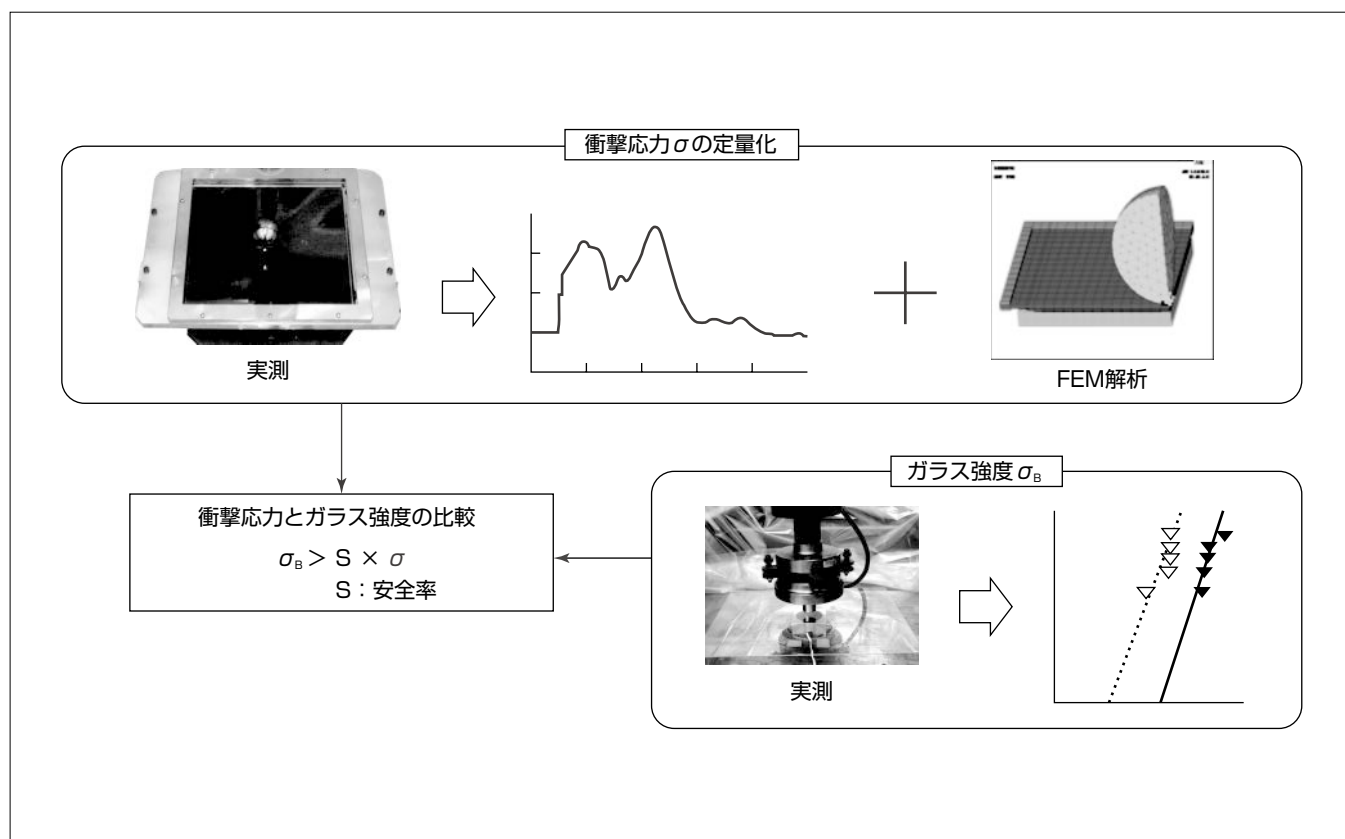
Hiroshi Teramoto, Akihiro Mori, Yasuhiro Morii, Takahiro Yoshimoto

要 旨

三菱電機で新規に開発した投影型静電容量(Projected CAPacitive: PCAP)方式のタッチパネルを搭載した液晶表示装置(Liquid Crystal Display: LCD)は従来の液晶表示装置と異なり、表示面側の最表面にカバーガラスを配置した構造である。新たな構造の採用に伴い、市場での様々な衝撃負荷に対する強度設計、及び評価手法を確立する課題が発生した。これらの課題に対して、カバーガラスに加

えられる衝撃負荷、及びガラス強度の実測と有限要素法(Finite Element Method: FEM)解析を用いて、定量的に見積りを行い、安全性の高い製品の設計手法を構築した。

本稿では、この設計手法の内容とその検証結果を述べる。また、構築した設計手法を用いて、耐衝撃性に優れた安全性の高いPCAP方式タッチパネルを搭載した液晶表示装置を開発した。



PCAP方式タッチパネルのカバーガラス強度設計手法の構成

衝撃負荷の実測を基に構築したFEM解析モデルから見積った衝撃最大発生応力と、実測のガラス強度を比較する強度設計手法の構成を示す。

1. ま え が き

当社では、2.0～19.0インチの中小型の産業用途のPOS (Point Of Sale)端末、ATM(Automatic Teller Machine)、魚群探知機、FA(Factory Automation)制御盤といったモニタ向けに様々な液晶表示装置を開発、製造している。産業用途として、広い温度範囲保証、長寿命、堅牢(けんろう)性の特性が要求されている。また、近年タッチパネルを搭載した液晶表示装置が一般的になってきている。当社でも従来抵抗膜方式のタッチパネル搭載液晶表示装置を開発・製造していたが、投影型静電容量(PCAP)方式のタッチパネルを搭載した液晶表示装置の開発に着手した。従来のタッチパネルを搭載しない液晶表示装置や抵抗膜方式のタッチパネルを搭載した液晶表示装置は、ユーザー側の表示面の最表面に偏光板やフィルムが配置されているため、パネルガラスが破損したとしても、偏光板、フィルムがガラスの飛散を防止するので、安全性は保たれていた。しかし、最表面にカバーガラスを用いたPCAP方式のタッチパネルを搭載した液晶表示装置は、ガラス破損によって従来品と比べて安全性が劣る課題がある。よって、我々はカバーガラスの強度に対する設計手法、及び評価手法を新たに開発する必要があった。今回、構築したこの設計手法を用いて、耐衝撃性に優れた安全性の高いPCAP方式タッチパネルを搭載した液晶表示装置を開発した。

2. 設計手法の開発

2.1 PCAP方式タッチパネルの構造とガラス強度に関する課題

図1に当社のPCAP方式タッチパネルを搭載した液晶表示装置の構造の一例を示す。構成部材はユーザー側からカバーガラス、粘着材、静電容量を感知するセンサレーガラス、粘着材、LCDパネルとなっている。構造のバリエーションとして、センサレーガラスと液晶表示装置の間の粘着材を空気層に変更しているものもある。カバーガラスはガラス自体の質感や表面保護の機能に加えて、表面に低反射(AR)、防眩(ぼうげん)(AG)、汚れ防止(AFP)、滑り性といった機能性膜を付与したり、ロゴやパターンと

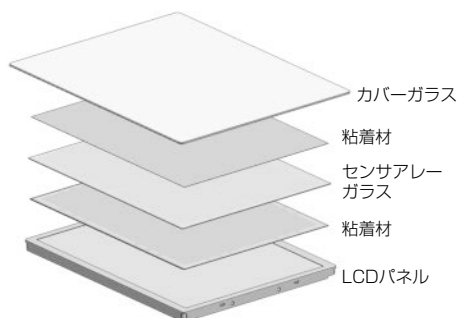


図1. PCAP方式タッチパネル搭載LCDの構造

いった印刷加飾などを行いタッチパネルの意匠板として適用されている。

ガラスは広く知られているとおり、容易に割れて、鋭利な尖端(せんたん)が露出する。市場での様々な衝撃負荷に対して、安全な製品を提供するためには、衝撃負荷に対して適正なカバーガラスの強度設計をする必要がある。屋内で携帯電話やペンがタッチパネルに落ちるような衝撃もあれば、屋外で傘で突き刺されたり、ひょうが衝突したりといった衝撃もカバーガラスに加えられる可能性がある。衝撃負荷も様々な状況が想定されるが、衝撃試験の標準としてUL60950を使用することにした。UL規格は米国の保険業者安全試験所(Underwriters Laboratories Inc.)が策定する製品安全の規格であり、材料・装置・部品・道具類などから製品にいたるまでの、機能や安全性に関して標準化されているものである。電気機器の安全要求に関して記載のあるものの1つがUL60950である。このUL60950の中に耐衝撃性に関する試験の記述がある。内容は次のとおりである。

535gの鉄球を1.3mの高さから3回自由落下させ、対象の装置が破損するか、しないかを評価するサンプル1～3台に対して、鉄球落下で3回ガラスが破損しないこと。ただし、各サンプルに対して、試験1回目は必ず破損が発生しないこと。破損しなかったサンプルは連続して試験を行い、2回目以降で破損が発生した場合はサンプルを交換する。

この試験の流れを図2に示す。

当社でもPCAP方式タッチパネルの開発当初は先に述べたUL60950に従って、評価サンプルを3台作製し、鉄球を落下させる試験を実施して、安全性を確認していた。我々は開発したサンプルに対して、この試験でガラスが破損しなければ安全性が確保できているとしていた。規格にのっとった評価ではあるが、この鉄球落下の試験では、ガラスが割れる、割れないかの判定しかできず、ガラス割れが発生しなかった場合でも、たまたま抜き取った3台のガラス、及びPCAP式タッチパネルを搭載した液晶表示装置が十分な強度であっただけで、製品量産時にPCAP方式タッチパネルを搭載した液晶表示装置の強度に実際どの程度マージンがあって、衝撃に対して十分な安全設計ができていないのか分からない状況であった。

	サンプル #1	#2	#3
鉄球落下試験1回目	破損なし ① ↓ ↓ ↓		
試験2回目	破損なし ② ↓ ↓	破損あり ⇒ ⇒ ⇒ サンプル交換	破損なし ② ↓ ↓
試験3回目	破損なし ③ ↓	破損あり ⇒ ⇒ ⇒ サンプル交換	破損なし ③ ↓
	合格	合格	合格

他の試験結果は、UL試験不合格を意味する。

図2. UL60950衝撃試験

◇ 一般論文 ◇

ガラス強度と衝撃応力の関係を図示すると、図3のような2つのケースが考えられる。図3(a)のケースAでは、安全性が不十分で製品としては出荷ができないものがあり、不十分な強度設計である。一方で図3(b)のケースBでは十分なガラス強度が確保されており、安全性の高い製品として出荷ができると考えられる。

当社のPCAP方式タッチパネル搭載液晶表示装置に関して、ケースBを満たす製品を設計するために、新しい手法として、衝撃応力とガラス強度を定量的に見積る強度設計手法を開発した。

2.2 衝撃応力の測定

初めにUL60950試験でのガラスに発生する応力を測定した。図4は測定方法の配置を上面方向から見た写真と断面図を示している。

PCAP方式タッチパネルはカバーガラスの周辺を治具で上下方向から外周4辺を挟み込んで固定している。カバーガラスの裏面中央にひずみゲージを貼りつけて、UL60950の条件での衝撃応力の応答波形を測定した。

図5に実測の衝撃応力の応答波形を示す。最大発生応力は約830MPa、衝撃後3.5msで検出した。

2.3 FEM解析による衝撃応力の計算

次に様々な衝撃負荷に対して、ガラスに発生する衝撃応力を定量的に求めるため、FEM(有限要素法)解析を用いることとした。条件はUL60950試験の条件を適用した。図6

にFEM解析モデルを示す。FEM解析モデルにはUL60950の鉄球落下を模擬した1/4対称モデルを用いた。前提条件として、構成部材の厚み、大きさ、物性を与えて、ガラスを挟み込んでいる外周周辺部を固定点とした。表1にFEM解析に使用した物性値を示す。鉄球落下試験での衝撃エネルギーを自由落下の運動エネルギーで入力して、時刻歴応答解析を実施した。

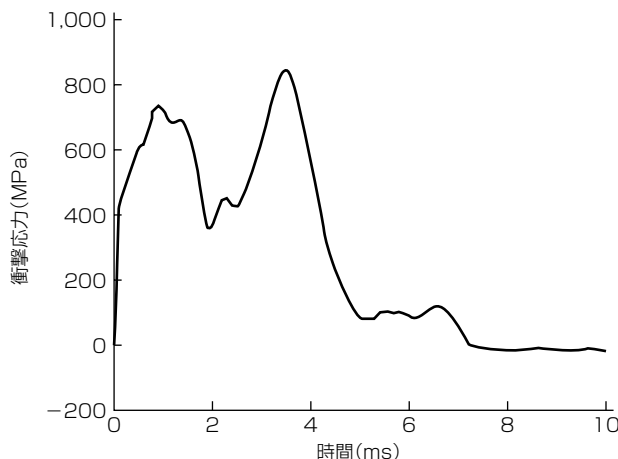


図5. 衝撃応力の応答波形

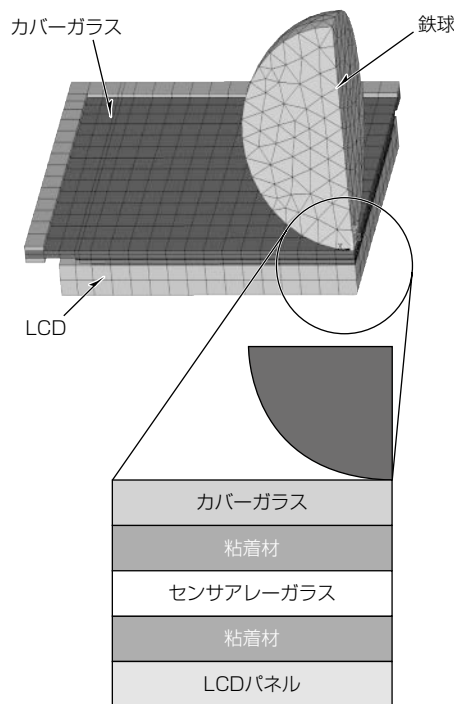


図6. FEM解析モデル

表1. FEM解析に使用した物性値

	弾性係数E (MPa)	ポアソン比ν	密度ρ (kg/mm ³)
鉄球	200,000	0.30	7.9E-06
カバーガラス	70,000	0.21	2.5E-06
粘着材	0.15	0.49	1.0E-06
センサアレーガラス	70,000	0.21	2.5E-06
LCDパネル	900	0.30	1.6E-06

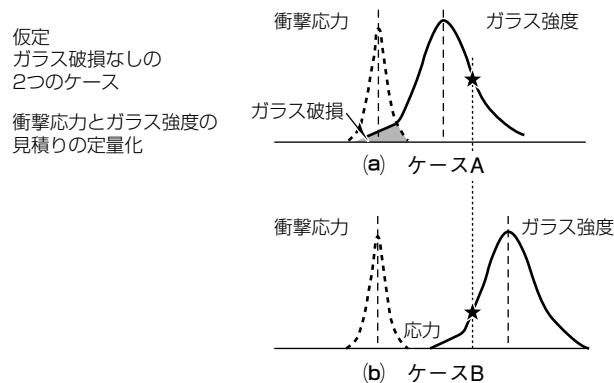


図3. ガラス強度と衝撃応力のモデル

UL60950 --- 安全性に関する標準の1つ

- 衝撃試験：
 1. 50mm径、535gの鉄球
 2. 1.3mの高さからの落下
 3. 破損判定

測定方法の配置

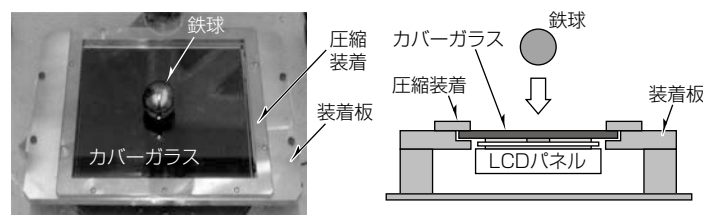


図4. 衝撃応力の測定

図7は図5の実測値とFEM解析の応答波形を重ねたプロットを示している。波形の比較で、①最大発生応力の大きさと②最大発生応力の発生時間の相違点が確認された。

最大発生応力に関して、FEM解析による応力応答が実測値よりも低くなっている。これは、このFEM解析モデルによる応力が実測よりも小さく計算されたためと推測した。微小な変形量計算はガラスと粘着材の間の境界条件に大きく依存しており、図6のFEM解析モデルでは構成モデル同士が結合しているため、実測では粘着材の弾性率が低いため粘着材で連結される各部品の中立軸は分離し、曲げ変形時に独立して応力が生じるため、FEM解析と実測が一致しなかったと推察した。よって、各部品の中立軸が分離したFEM解析モデルを作成することで応答波形の強度を改善できると考えた。

また、実測された最大応力発生時間がFEM解析結果の発生時間よりも遅れている理由は、ガラスと比較してかなり小さい粘着材の粘弾性率によって応力の応答が遅くなっていると考えられた。衝撃の伝播(でんぱ)を遅らせるために粘着材に減衰パラメータDを導入することを検討した。

この2つの変更を取り入れたFEM解析モデルで解析を実施した。図8に部材間の固定条件を変更したモデルを示す。構成部材間に仮想的に距離をいれて、メッシュ要素の接点を分離し、変位の伝播の方向をZ方向に制限するカップリング拘束を付加した。

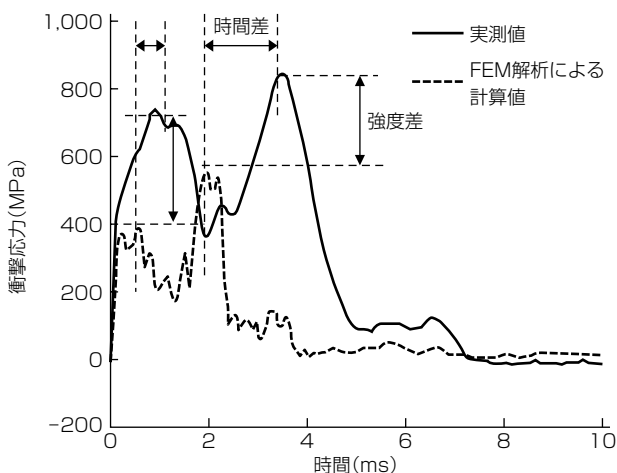


図7. 実測値とFEM解析による応力応答波形

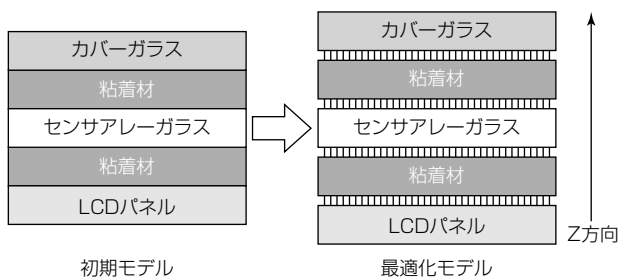


図8. FEMモデルの最適化

図9は減衰パラメータに $D = 2.00E - 03$ を用いて計算した応力応答波形と実測値との比較である。実測波形と計算波形で、最大発生応力の大きさ、最大発生応力の発生時間がかかなり一致する結果が得られた。

2.4 FEMを用いた設計手法の妥当性検証

次にFEM解析による衝撃応力見積りの妥当性の検証を試みた。検証方法はカバーガラスの強度分布の実測値と

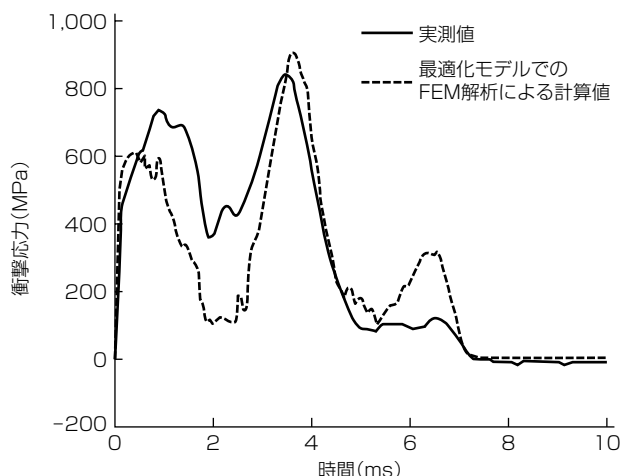
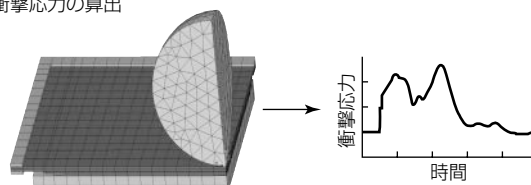
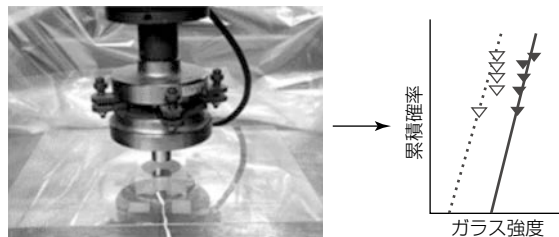


図9. 実測と最適化モデルでのFEM解析による応力応答波形

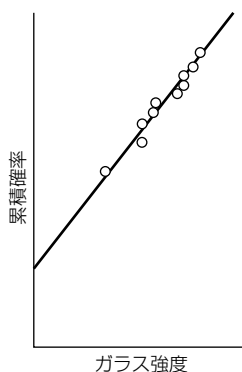
①衝撃応力の算出



②ガラスの強度分布との比較



③ガラスの破損確率の算出



④実際の鉄球落下試験での破損発生頻度測定



図10. 妥当性検証方法

◇一般論文◇

表 2. 評価①の鉄球落下でのガラス割れ結果

535g鉄球, 1.3mの落下試験			
サンプル	試験 1 回目	試験 2 回目	試験 3 回目
# 1	OK	OK	OK
# 2	OK	OK	OK
# 3	OK	OK	OK
# 4	OK	OK	OK
# 5	OK	OK	OK
# 6	OK	OK	OK
# 7	OK	OK	OK
# 8	OK	OK	OK
# 9	OK	OK	OK
#10	OK	OK	OK

表 3. 評価②の鉄球落下でのガラス割れ結果

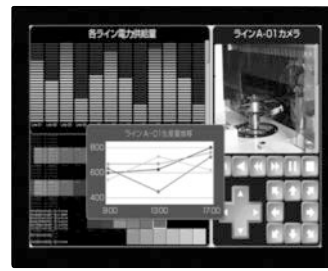
2.5mの落下試験	
サンプル	試験 1 回目
#11	破損あり
#12	破損あり
#13	破損あり
#14	破損あり
#15	破損あり

FEM解析で計算される衝撃応力から予想されるガラスの破損確率を計算と実測値で比較する方法を採用した。具体的な手順は、①FEM解析で落下高さを変えた時のガラスに発生する衝撃応力を算出、②別途入手したガラスの強度分布(ワイブル分布)と比較、③強度の分布から破損確率を算出、④実際の鉄球落下試験での破損の発生頻度と比較、とした(図10)。

ガラス強度分布は、引張試験機によるリングーリング曲げ試験でガラスの破損強度を実測した。PCAP方式タッチパネルに用いたカバーガラスは厚さ1.8mmで化学強化したソーダガラスである。

FEM解析による衝撃応力の見積りでは、1.3mの高さからの鉄球落下(評価①UL60950試験条件)の場合、約900MPaの応力が発生し、ガラスの強度分布から約5%の破損確率と予想される。一方で99%の破損確率は、鉄球落下2.5mの高さに相当することが計算から求められる。この計算結果に対して、鉄球を1.3mの高さから30回落下試行(評価①)した結果を表2に、鉄球を2.5mの高さから5回落下試行(評価②)した結果を表3に示す。

評価①の1.3m高さからの鉄球落下では破損率 ≤ 3%,



(a) AA104SL02-DE1



(b) AC150XA03-DE1

図11. PCAP方式タッチパネル搭載液晶表示装置

評価②の2.5m高さからの鉄球落下では破損率~100%となり、見積りとほぼ一致することが確認できた。この結果から、FEM解析による衝撃応力見積り方法は妥当性があると判断した。

3. む す び

FEM解析を使った手法ではカバーガラスに発生する衝撃応力を定量的に見積ることができ、市場での様々な要求に対して最適な設計をすることができるようになった。よって、当社では耐衝撃性に優れた安全性の高いPCAP方式タッチパネル搭載液晶表示装置を提供することができるようになった。

この手法を用いたPCAP方式タッチパネル搭載液晶表示装置として、UL60950対応の10.4インチ、12.1インチ、15.0インチの液晶表示装置を開発することができた。製品ラインアップとして、“AA104SL02-DE1”“AA104XF12-DE1”“AA121XN01-DE2”“AC150XA03-DE1”等を現在量産中である(図11)。