

고품질다이캐스트 프로세스와 그 적용 예 ¹⁾

金内良夫

日立金屬(株)

Development and Application of High-quality Die Casting Process

Takao Kaneuchi
Hitachi Metals, LTD

번역 : 최정철 ²⁾

1. 서 론

주조기술의 역사 중에서 다이캐스트법이 탄생하고부터의 역사는 짧다. 그럼에도 불구하고 다이캐스트법의 분야에서는 여러가지에 걸쳐 응용과 그것을 실현하기 위한 금형, 제조, 품질보증 기술이 쌓여 왔다. 다이캐스트법에 대한 제조기술개발은 생산성 향상을 최우선으로 진행해 왔지만, 고품질화, 안정 품질화에 향해서의 추구도 평행해서 계속되어져, 예로 생산장치의 세련, 여러 가지 외부장치나 계측기기의 추가, 유압기기의 정밀제어 기술 도입등을 행해왔다.

근년의 지구환경문제나 안전기준의 재검토에 대응해서 수송기 기류의 경량화 요구도 지금까지와 달리 가속하고 있고, 유럽에서는 다이캐스트제품이 용접, 열처리등을 동반하는 차체부품이나 서스펜션 부품 등, 중요 보안부품에의 적용이 되어지기까지 되었다. 이것은 고인성 재료의 개발 및 가스를 혼입하지 않는 특수프로세스의 개발에 의해 달성된 것이라고 말해도 과언은 아니다.

본 보고에서는 다이캐스트의 기본적 개념, 특수프로세스 및 그들의 대표 예와 당사에 있어서의 적용 예에 대해서 서술한다.

2. 다이캐스트공정의 엔지니어링 요소

다이캐스트공정에 있어서 엔지니어링 요소 중 중요한 것은

- 1) 금형의 게이트방안 · 내부구조
- 2) 적절한 다이캐스트머신의 선정
- 3) 주조조건(이형, 율활제도포를 포함한다.)

의 3개라고 생각되어진다.

게이트방안의 결정에 대해서는 제품의 전체적인 형상, 중량밸런스, 육후(평균육후, 일반육후), 품질요구특성, 적용 합금등을 충분히 고려, 검토할 필요가 있다. 이것들의 검토가 충분해도

실제로는 제품에 국부적인 불합리가 빈발하는 일이 있다. 이러한 불합리에 관해서는 적절한 제품(캐비티)형상설계가 되어져 있는지 어떨지 라는 것이 중요한 검토항목의 1개가 된다. 캐비티형상은 그 제품의 합격률, 금형의 이동율을 결정하는 큰 요인의 1개로서 이 사항은 모든 주조공정에 공통의 요소라고 생각된다.

또 1)~3)에 나타난 항목은 요구품질이 엄격하게 되는 만큼 여러 가지 조건에 대한 <강도>를 가지도록 하기 위해서 중요한 것이 된다. 이들의 항목은 결코 독립한 변수로서는 존재하지 않고 늘 서로 영향을 받는다. 이들의 밸런스를 검토하고 최량의 조건을 선택하기 위한 최초의 테이블검증수법으로서 예를 들면 PQ² (PV²) 다이어그램(그림 1)등이 이용된다. 제품형상이 결정되면, 실제의 방안설계에 들어가기 전에 이것들의 수법을 이용해서 충분한 사전검토를 행하는 것이 중요하다.

금형에서는 지향성응고, 금형의 전체 혹은 일부분의 온도상승을 제어, 소착의 방지 등을 실현하기 위해 냉각경로를 배치하

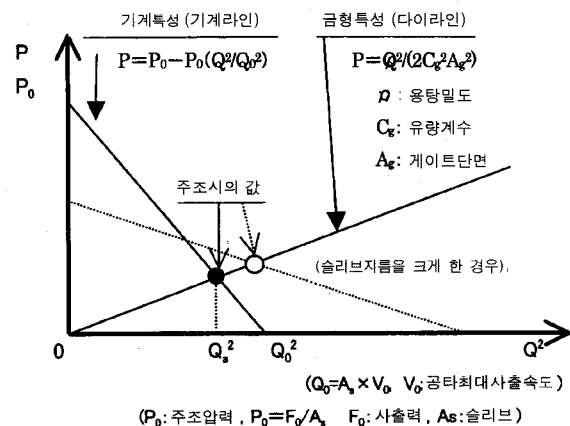


그림 1. PQ²선도의 예

1) 日本鑄造工學會誌 Vol. 76 No. 4 pp. 278~282에 게재된 자료임.
 2) 아주대학교 신소재공학과(Dept. of Materials Science and Eng., Ajou University)

는 경우가 대부분이다. 일반적으로는 물을 모체로서 이용한다. 유럽에서는 금형의 예열을 행하기 위해 가열한 열매체유를 이용하는 일도 있지만 이것은 금형전체의 보온이나 버리는 쇼트 삭감을 위해 이용하는 것으로서 일반적으로는 국부의 냉각에는 적용하지 않는다.

또, 주조 사이클을 검토할 때에도 금형의 내부냉각에 대한 고려는 중요하고 이것은 금형의 마모손실, 이동율, 특히 제품의 육후부에서의 품질에 영향을 미친다.

금형이형제, 프랜저유허활제의 선정도 품질에 영향을 미친다. 그들의 도포조건도 품질에 큰 영향을 미치지만 이들은 현장에서 조정할 수 있는 폭이 넓으므로 프로세스의 치명적 결함은 되기 힘들다. 그러나 먼저 서술한 까다로운 조건의 한 요소이다. 탈형 구배를 포함한 제품형상이나, 금형표면처리의 궁리등으로 도포량을 줄이는 일도 할 수 있으므로, 제품설계, 금형설계에 있어서 불필요한 이형제 도포를 감소시키려는 배려를 할 필요가 있다.

이들 요소의 영향도는 주조할 합금재료에 의해서도 크게 달라져서 제품이나 금형을 설계할 때에는 잘 고려하는 것이 매우 중요하다.

3. 고품위화 프로세스

다이캐스트의 고품위화는 1) 인성(강도)이 높은 재료를 2) 가스, 산화물, 개재물의 혼입을 가능한 한 줄이고, 3) 균질한 충전, 응고를 시키는 것으로 달성할 수 있다.

3.1 고인성(고강도) 재료의 적용

고인성(고강도)제는, 유럽을 중심으로 개발이 진행되고 있고, 아공정 Al-Si-Mg계합금, Al-Mg-Si계합금이 실용적으로 제공되고 있다. Al-Si-Mg계합금은 T6처리의 열처리를 행함에 의해 강도, 인성을 확보할 수가 있지만 제품형상에 따라서는 변형이 염려되는 경우도 있다. 또, 근년은 유럽을 중심으로 열처리가 필요 없는 Al-Mg-Si계합금을 사용하는 경우도 계속 증가하고 있지만, 성형성이 나빠서 일본에서는 널리 보급하기까지는 이르지 못하고 있다.

3.2 가스, 산화물, 개재물의 혼입 저감

가스, 산화물, 개재물의 혼입에 대해서는 다이캐스트뿐만 아니고 주물전반에 공통 애로 항목이지만, 특히 혼입 가스에 기인하는 결함이 많은 것은 다이캐스트의 특징이다.

다이캐스트의 경우, 그 개선에 대해서 2개의 접근이 행해지고 있다. 하나는 혼입 가스를 저감시키기 위해 감압상태로 한 캐비티에 용탕을 주입하는 방법, 또 하나는 가스 혼입을 막기 위해 용탕을 조용히 캐비티에 주입하는 방법이다. 전자는 진공 다이캐스트라고 불리어져 MFT법, RSV법, GF법, OPTIVAC법, VACURAL법(그림 2)등, 또, 후자에 있어서는 층류다이캐스트법, 스쿼드다이캐스트법, 반응용 반응고법(그림 3)등, 각각 여러 가지 수법, 프로세스가 개발되어있다. 당시에서의 생산시스템에서는 진공 다이캐스트법으로서 MFT법을 기초로 한 HIVAC프로세스, VACURAL법을 기초로 한 HIVAC-V프로세스가 있고,

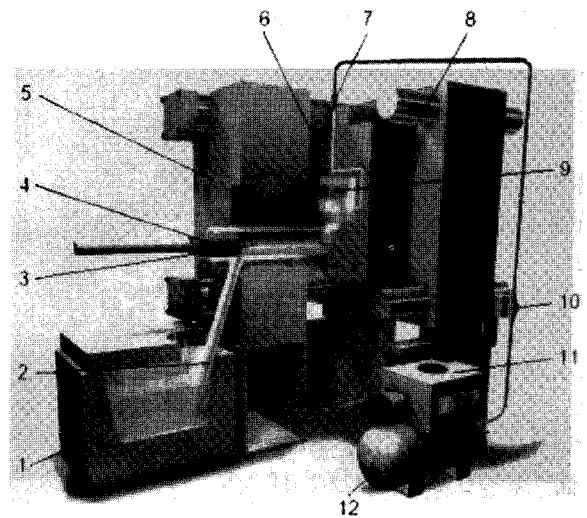


그림 2. VACURAL®법

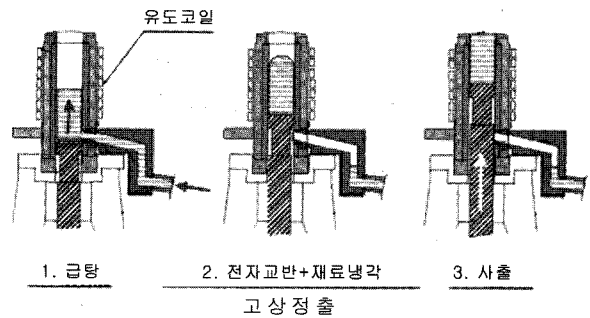


그림 3. 반응고다이캐스트의 예(SSM; 히다치금속)

또, 반응용, 반응고법에서는 반응고법을 기초로 한 SSM(반응고 다이캐스트)프로세스를 가지고 있다(그림 3).

또 이것들과는 별도로 PF다이캐스트로 대표되는 것과 같은 우선 캐비티내를 반응성 가스로 치환하고, 사출시에 알루미늄용탕과 반응시켜 일시적으로 캐비티내를 진공상태로서 주입하는 분위기다이캐스트프로세스도 있다.

이들의 프로세스는 각각에 대책하려고 하는 불량현상의 대상이 달라지고 있는 경우도 있고 잘 되는 제품형상, 얻어지는 성형성, 품질이나 필요한 설비도 달라진다. 그렇기 때문에 적용 제품, 요구품질, 가격을 고려해서 적절한 선택을 행해야한다.

3.3 균질한 충전

균질한 충전에 대해서는 소정의 충전시간(유동을 정지할 상태까지 용탕의 온도가 저하하는 시간)이내에 충진을 완료해야만 하는 것은 어떠한 제작법에서도 공통적인 요구항목이다. 일반적으로는 F. C. Bennett의 식이나 Wallace등의 식으로 대표되는 계산수법이지만, 각 변수에의 수치 설정방법등의 점에서 충분한 재현성이 확보되어있다고는 말하기 어렵다. 각사 모두 자사의 여러 가지 제품의 결과로부터 독자적 설정방법에 의해서 결정되어 있다고 생각된다.

응고에 대해서는 충전시의 용탕온도와 밀접하게 관계하고 있

지만, 제품 형상적으로 이상적인 응고상태를 얻는 것이 곤란한 경우에는 적극적인 금형냉각등의 도입이 필요하다. 근년은 CAE등도 보급하고 있어, 해석을 이용해서 예측하는 것도 중요하다.

고속으로 주입한 다이캐스트의 경우, 충전시간과 함께 게이트에 있어서 용탕의 분출상태도 고려할 필요가 있다. 간략화한 분류치(J)는 다음의 (1)식으로 정의된다[1].

$$J = D \times \rho \times V_g^{1.71} \tag{1}$$

여기서

D = 게이트단면적/(게이트폭+게이트두께)(cm)
 = 용탕의 밀도(kg/cm³)
 V_g = 게이트속도(cm/초)

ADC12상당재에 있어서는 이상적인 분류상태를 얻기 위해서는 J > 525이어야만 한다고 한다. 충류 충진을 기본으로 한다. 스퀴즈다이캐스트나 반응고다이캐스트등에 있어서는 이러한 방법은 적합하지 않다. 이들 경향을 실험적으로 확인하기 위해 ADC3(JIS)상당재를 이용하고, 당사 HIVAC-V프로세스에서 제조한 제품에 있어서 충전시간과 기계적 성질, 특히 신장에 대해서 조사한 예를 그림 4에 나타낸다. 또, 제품내 가스량에 대해서도 계측했으므로 합해서 나타낸다.

충진시간의 단축 즉 게이트속도의 상승에 동반하여 신장의 향상이 확인되어진다. 이것에 의해 단시간에 충전된 유동중의 응고를 막고, 형내에서의 급냉응고를 정확하게 행함에 의해 인성이 향상한다고 생각되어진다. 그림 5에서 충전시간을 변화시킬 때의 주조조직의 예를 나타낸다. 충전시간이 긴 것은 명백하게 초정 α의 입경이 크게 입상에 정출하고 있는 것에 대해 충전시간이 짧은 것의 α상은 균일한 등축정으로 되어있다는 것을 알 수 있다.

제품내 가스량에 대해서는 충전시간이 짧게 된다. 즉 게이트속도가 증가하기에 동반해서 상승하는 경향이 얻어지지만 또한 게이트속도를 증가해 가면 일변해서 감소로 전환한다. 이것은 게이트에 있어서 분출상태(J)와 밀접하게 관련한다고 생각된다.

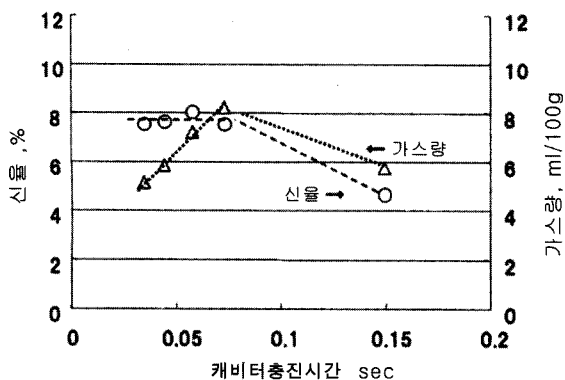
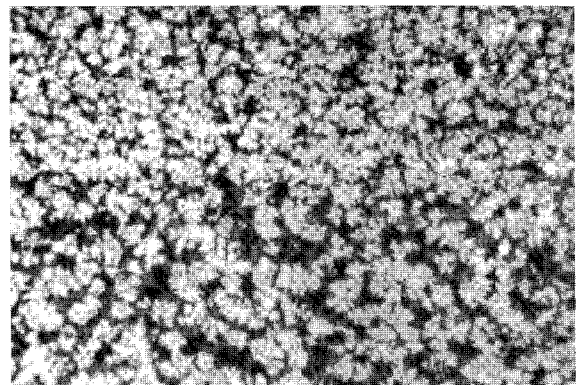
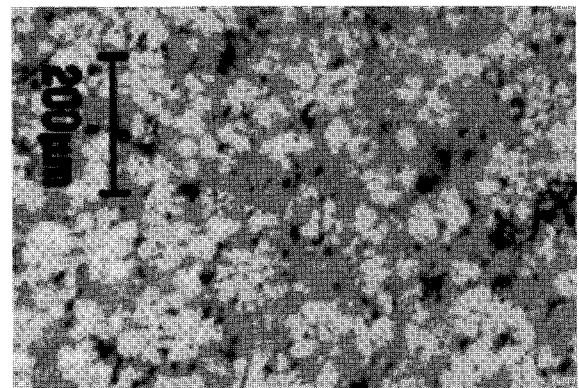


그림 4. 충전시간과 신율 및 제품내 가스량의 관계 (실체에서 잘라낸 TP, F재)



충진시간 ; 40 ms



충진시간 ; 100 ms

그림 5. 충전시간과 주조조직의 예 (치수는 쌍방향 동일)

(1)식에 의한 J수치의 검토를 행하면, 대개 J=500정도를 경계로서 제품내 가스량은 감소로 전환하는 것을 알 수 있다.

이 결과에 의해 분출과 제품내 가스량과의 사이에는 무언가의 관계가 있다고 생각된다. 캐비티형상이 달라지는 제품에 대해서 n증가를 행해 재현성을 확인하고 싶다고 생각하고 있다.

4. 당사에 있어서 고품위화 프로세스의 적용사례

전장에서 서술한 대로, 당사는 진공다이캐스트로서 ① HIVAC, ② HIVAC-V, 반응고다이캐스트로서 ③ SSM을 가지고 각각

1. 자동차용 엔진부재등
2. RV차량 프레임부품등
3. 자동차용서스펜션부품을 생산중이다.

HIVAC에 의한 엔진부품으로서 주로 타이밍체인카버를 생산하고 있고, 이것은 엔진오일, 냉각수등의 통로를 가지고 특히 내압성(내누수성)을 요구하는 것이다. 그림 6에 그 예를 나타낸다.

HIVAC-V에 의한 RV차량 부품은, 주로 스노모빌용의 프레임부품이고, 일부는 중요보안특성을 가지는 부품이다. 재료에 JIS다이캐스트합금인 ADC3를 베이스로 해서 개발한 HALS-

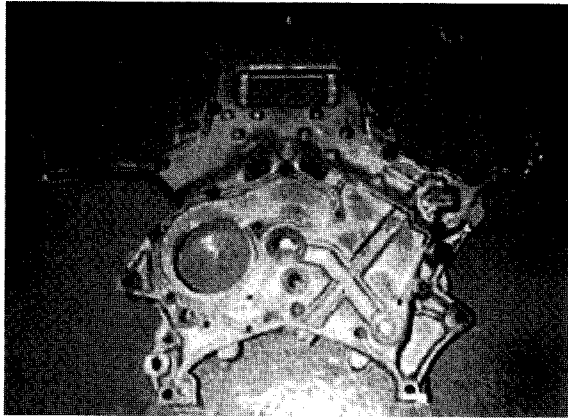


그림 6. HIVAC에 의한 생산품의 예 (V6엔진용 타이밍체인과 바)

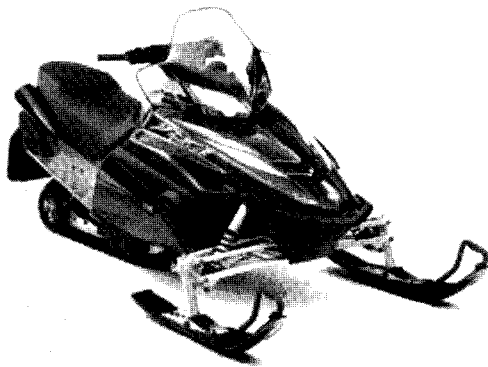


그림 7. 야마하발동기(주) 「RX-1」

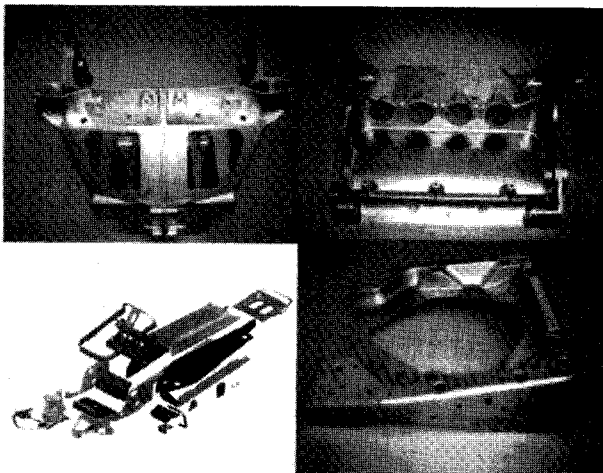


그림 8. 적용부품(상단왼쪽: 발크헤드 LH+RH 상단오른쪽: 서브프레임 하단오른쪽: 리어패널)

30D(당사 개발제)를 이용해서 높은 강도, 인성을 확보하고 있다.

그림 7에 적용한 스노모빌의 외관, 그림 8에 생산품의 예를 나타낸다.

이것들 중, 발크헤드는 앞부분 스키의 서스펜션 및 삭압저버의 체결부이며, 이들의 부품과 차체프레임과의 결합기능을 갖는

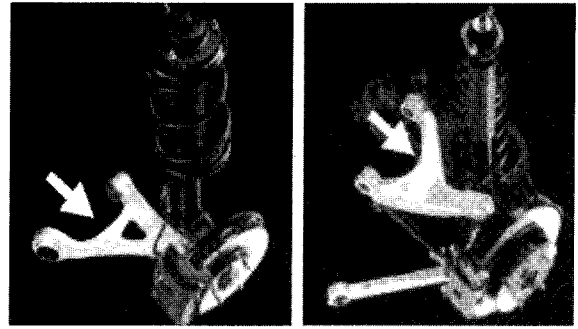


그림 9. SSM을 적용한 자동차용 서스펜션부품

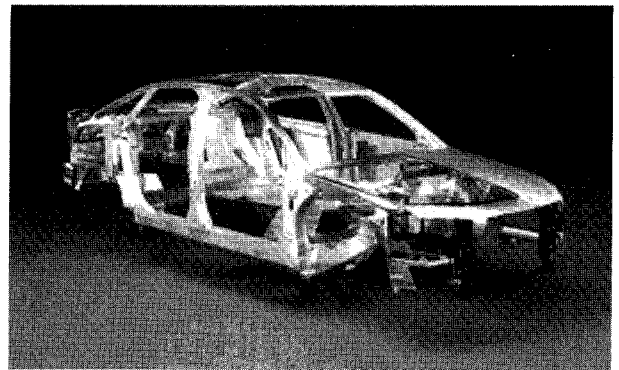


그림 10. 다이캐스트부품을 이용한 차체 프레임 (독, AUDI사)

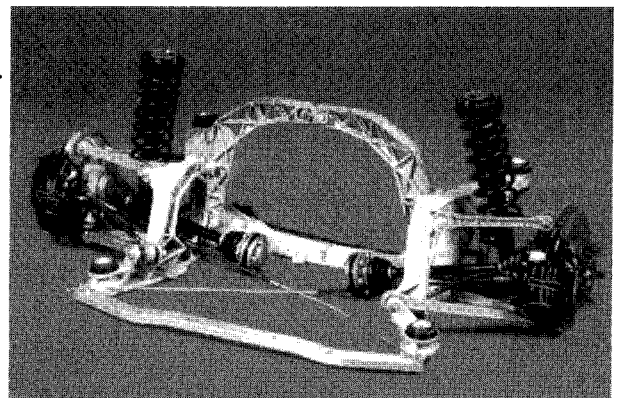


그림 11. 다이캐스트부품을 이용한 서스펜션 (독, Porsche사)

다. 그렇기 때문에 중요보안특성을 갖는 부품이고, 양산중에 실제 시험에 의한 강도관리를 행하고 있다. 이것들은 모두 F재로서의 적용이고 열처리하는 실시하지 않는다.

SSM에서는 자동차용서스펜션부품인 프론트로어암, 리어퍼암의 제조를 행하고 있고, 이것들은 전부 중요보안부품이다. 재료로서 주물용합금인 AC4CH를 이용하고 전부 T6열처리를 실시하고 있다. 그림 9에 적용품과 그 적용부위를 나타낸다.

진공다이캐스트의 고도화나 반응고 프로세스등의 실용화에 의해 매우 다양한 적용 영역의 개척이 가능하게 되었다. 이러한 움직임은 특히 유럽에서 성행하고 있고, 그림 10에 나타내는 차체프레임(스페이스프레임)이나, 그림 11에 나타내는 서스펜션

부품에도 고품위다이캐스트의 적용이 행해지고 있다.

특히 차체부품등의 적용에서는, 알루미늄합금판재나 압출재등의 타부재와의 접합이 필요하게 된다. MIG나 TIG등의 용접수법이 일반적이지만, 에너지를 집중할 수 있고, 피접합물에 대한 열에 의한 악영향을 최소한으로 할 수 있는 레이저용접법이나, 특수 리벳트에 의한 기계적 이음으로의 접합이라고 하는 수법도 실용화되고 있다.

5. 결 론

금후의 사회적 요구에 있어서 다이캐스트의 적용도 지금까지 이상으로 다양화함과 동시에 요구되는 기능도 복잡, 고도화해 가는 것은 필수이다. 그것을 만족하기 위한 프로세스의 개발을

진행함과 동시에 다이캐스트프로세스에 있어서의 재료도 포함한 기초적 파라미터를 연구 재검토하고 그 결과를 신프로세스개발에 효율 좋게 피드백하는 것이 중요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] M. L. Cox et al.: PQ2 (NADCA Publications)
- [2] T. Kaneuchi, T. Imamura, R. Shibata; J. JSTP, **14** (2000) 479.
- [3] M. Ebisawa : J. JFS, **75** (2003) 422.
- [4] (社)日本鑄調工學會 다이캐스트研究部會 : 다이캐스트의鑄調欠陥・不良及び對策事例((社)日本鑄調工學會)
- [5] (社)日本鑄調工學會 研究報告 : 高品質保証 다이캐스트鑄造技術((社)日本鑄調工學會)
- [6] T. Kaneuchi : Report of JFS Meeting, **143** (2003) 1.