

21世纪的 钢铁材料

STEEL MATERIALS IN 21ST CENTURY

(译文专集)

首钢集团公司技术中心
首钢总公司冶金研究院

《二十一世纪的钢铁材料》

(译文专集)

首钢集团公司技术中心

首钢总公司冶金研究院

一九九九年三月

《二十一世纪的超钢铁材料》

(译文专集) 编译委员会

顾 问: 李文秀 许晓东 周振新 傅祖明 刘志刚

主 编: 吴学锋

副主编: 李友佳

编 译: (按姓氏笔画为序)

丁 阳	万 永	王成德	王 薇	李金鹏
师 莉	陈国钧	郑国经	郑宝茹	赵金桥
顿宝成	焦 平	曾家炳	韩培才	魏 忠

参加人员:

何瑞琴	张秀娣	孟 南	李金博	程 军
吴学斌	孙树燕	代云红	王惠娟	王爱红
李耀天	窦建姪	贾振丽	孙达庚	贾崇林
杨学梅	褚 维	魏自恩	张文琬	

序 言

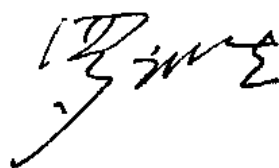
面对 21 世纪的未来发展，人们在经历了代用材料的反复试验后，又开始重新认识钢铁材料的重要作用。研究开发出更强、更轻、更经久耐用的新一代钢铁材料是当今世界冶金科技发展的重要内容。作为工业发展和社会生活的基础材料，现有的钢铁材料也面临诸多迫切要解决的课题。超长大桥、高速铁路、超高层大楼、海上机场、沉堤隧道等新的国民经济基础建设发展趋势，提出了开拓未来钢铁材料的新需求。日本政府于 1997 年正式启动的四大科研项目之一就是“超级金属研究计划”，该计划为期十年，总投资额高达 1000 亿日元，它的主要内容就是研制强度和寿命相当于现有钢铁材料两倍的新一代钢铁材料。

为了及时掌握国际上新一代钢铁材料研究和开发工作的最新进展，首钢技术中心和首钢冶金研究院组织有关专家对该领域进行了信息调研，并从中选取了部分有参考价值的文献翻译，出版了这本反映国际钢铁材料研究最新动态的译文集。

本书阅读后，对当今钢铁材料及工艺技术发展动向有所了解；对建设面向 21 世纪的首钢，实现工艺技术的新突破也有重要启示。

谨以此译文集供钢铁行业同行参考，望共同推进企业的科技进步。

北京金属学会理事长
中国金属学会副理事长
首钢集团总经理

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Lu Zhen' (卢震), written in a cursive style.

1999 年 3 月 15 日

前 言

1997年下半年,日本金属材料界发生了一件大事:在科技厅、通产省、新能源综合开发机构(NEDO)的领导下,被认为是未来钢铁材料技术发展方向的“极限功能材料”研究计划正式启动,并为此成立了“铁基极限功能材料研究会”和“极限结构材料研究中心”。

为发展二十一世纪新型金属材料,日本通产省于1993年提出开发极限功能材料的设想,并由日本通产省工业技术院、钢铁公司、国家研究所开展预研。1994年日本钢铁协会、日本机械工业联合会提出调查报告认为,尺寸为10~100nm的所谓“中级微粒”微晶结构组织控制技术对发明铁基等超级新型功能材料具有极高的可能性。1996年学术界、工业界的预研结果,发现当晶粒小于1 μm 时,晶粒细化的强化作用将大大超过加工或析出强化的作用,认为充分发挥铁基材料的极限性能,提高回收率,当前最主要的有效手段是利用单纯成分系使其组织细化。

1997年通产省汇总了各个方面的开发成果,确定了“极限功能材料”研究开发的技术领域及项目,并于5月9日招标,6~7月由NEDO组织审查中标的金属材料开发中心(JRCM)和下一代复合材料开发协会(RIMCOF)提出的四个方案。8月签定委托合同,9月正式启动。

该计划的研究目标是:在2001年前完成从板坯开始建立厚度为1mm以上、具有1 μm 以下均匀多相复合组织的超微晶组织铁基大型原材料和小型部件及其制造技术,要求材料的强度和使用寿命比现用结构钢等高一倍以上;建立200mm宽、3 μm 以下超微晶大型铝材研制技术。

研究内容有:

1. 中级微粒(10~100nm)结构铁基、铝基材料及其控制技术。
2. 纳米结构、非晶结构材料及其控制技术。

前者由JRCM负责、后者由RIMCOF负责。

第一期工作五年(1997年9月~2001年9月)。

技术措施有:

1. 利用高密度位错特点的超强力加工技术,以突破目前晶粒尺寸最小为1~10 μm 的加工极限。
2. 可变强磁场精密处理技术,利用相变、磁场与加工的叠加,细化组织结构。

3. 氮化物冶金及铸态组织极限细化技术。

4. 超低温加工和多重集成加工（多轴向、超大变形应力）技术，精密控制晶核的形成、长大和均匀化技术。

5. 开发高速粉末固化技术、超微粉制造技术（如用超急凝固法合成粉末）、氧化物合金化、超塑性成形、护极限凝固技术（如高速搅拌凝固和超冷非晶凝固、合成成型）等新工艺，从而确立纳米、非晶结构控制技术。

6. 通过清除夹杂物的超纯净技术提高疲劳寿命和表面涂层提高耐腐蚀性、用改质如激光或等离子法进行表面溶化、合金化和硬化提高耐磨性等。结合上述细化组织结构的技术，开发出强度和寿命比现在高一倍以上的新一代结构材料——“超级钢铁材料”。

技术方案包括材料设计、加工设备与工艺、结构分析和计算科学三大领域。

由于本研究的重点是放在开发全新的组织结构来实现高性能和高功能化，因此研究开发的材料面很广，涉及建筑、航空航天、铁路、交通、情报通讯和电子、能源、化工、家电、环保等各行各业。仅结构材料而言，下个世纪二十年代末，经济和社会效益达 10 万亿日元。日本政府预备把这新一代的极限功能材料（也有的叫“超级合金”、“超级金属”或“超级钢铁材料”、“精细钢材”）在 21 世纪更换已使用了五十年之久的传统金属材料，以保国民经济的持续发展。

日本政府的这项新世纪材料开发计划项目涉及的领域多、用途广、影响大、效益显著，可谓雄心勃勃。其明显特点：(1)改造传统材料和创制新材料相结合，并以前者为重点；(2)大力开展研究运用高新技术、全新工艺；(3)从查询、材料设计、性能预测、工艺控制、实验检测，到理论计算、模拟仿真、信息数据交流等领域充分利用现代信息和计算技术，可能会创造出一种全新的研究工作机制；(4)在政府领导与支持下，产学研一体化，联合攻关；(5)项目招标，并由专门组织进行协调、审查评估；(6)由政府和大企业共同出资，经费能够确保。

本专集介绍了该计划项目的概况及有关新一代超级钢铁材料的组织细化预研结果、材料开发水平和研究动向等，提供有关领导、材料研究人员、工程技术人员和专业管理干部参考。

由于时间仓促，水平有限，错误当难避免，敬请读者原谅并指正。

编 者

1999 年 3 月

目 录

项目计划概况

- 1、 新世纪结构材料开发构想..... (1)
- 2、 下世纪社会基础设施的[STX-21]国家项目与超级金属..... (33)
- 3、 新世纪结构材料研究计划..... (38)
- 4、 二十一世纪金属极限功能材料国家项目概况..... (46)

组织细化原理和应用

- 5、 钢铁材料组织控制的最新进展..... (50)
- 6、 钢铁组织控制的原理和应用..... (56)
- 7、 钢铁组织控制的现状与展望..... (77)

组织细化方法及对各种性能的影响

- 8、 追求极限性能的钢铁组织细化技术..... (89)
- 9、 形变马氏体向奥氏体逆相变及超微晶形成机制..... (102)
- 10、 通过组织控制提高强度技术..... (111)
- 11、 通过组织控制提高高温强度和高温耐腐蚀性技术..... (141)
- 12、 铁的强化机理与极限强度..... (177)
- 13、 高强度的琴钢丝..... (185)
- 14、 层状渗碳体的纳米结构对镀锌钢丝机械性能的影响..... (193)
- 15、 通过组织控制改善钢的延展性及加工性技术..... (200)
- 16、 金属组织对焊接性能的影响..... (231)
- 17、 控制显微组织提高钢的耐磨性技术..... (260)

其他改善性能的研究

- 18、 计算相图在组织控制方面的应用..... (280)
- 19、 强磁场对碳素钢相转变的影响效果..... (298)
- 20、 钢的高纯度化精炼..... (299)

新世纪结构材料开发构想

日本金属材料研究所

金属材料作为支撑国民生活富裕及安全的基础结构材料而大量使用。作为金属结构材料主流的钢铁材料的生产消耗了大量的资源以及能源，但是从地球环境的观点出发，迫切需要开发能有效利用有限的资源、能源，降低二氧化碳排放量以控制地球温室效应等的技术。另外，随着材料使用方法的多样化，对材料特性的要求也日益严格，迫切需要与之相对的措施。

在我国，自 21 世纪初起，在高度发展期装备的各种社会基础设施和主要生产设备都进入了更新时期。另一方面，在激烈的国际经济竞争中产业的泡沫化以及熟练工人的流失、出生率降低而高龄者比重增加导致人口构成变化等使人不得不为国家技术活力的降低而担心。

这些问题的解决，将保障下个世纪以后持续发展的可能，而且可安心构筑情趣盎然的社会基础，为在不久的将来实现“科学技术创造立国”的方针，现在已到了举全国之力研究的时候了。

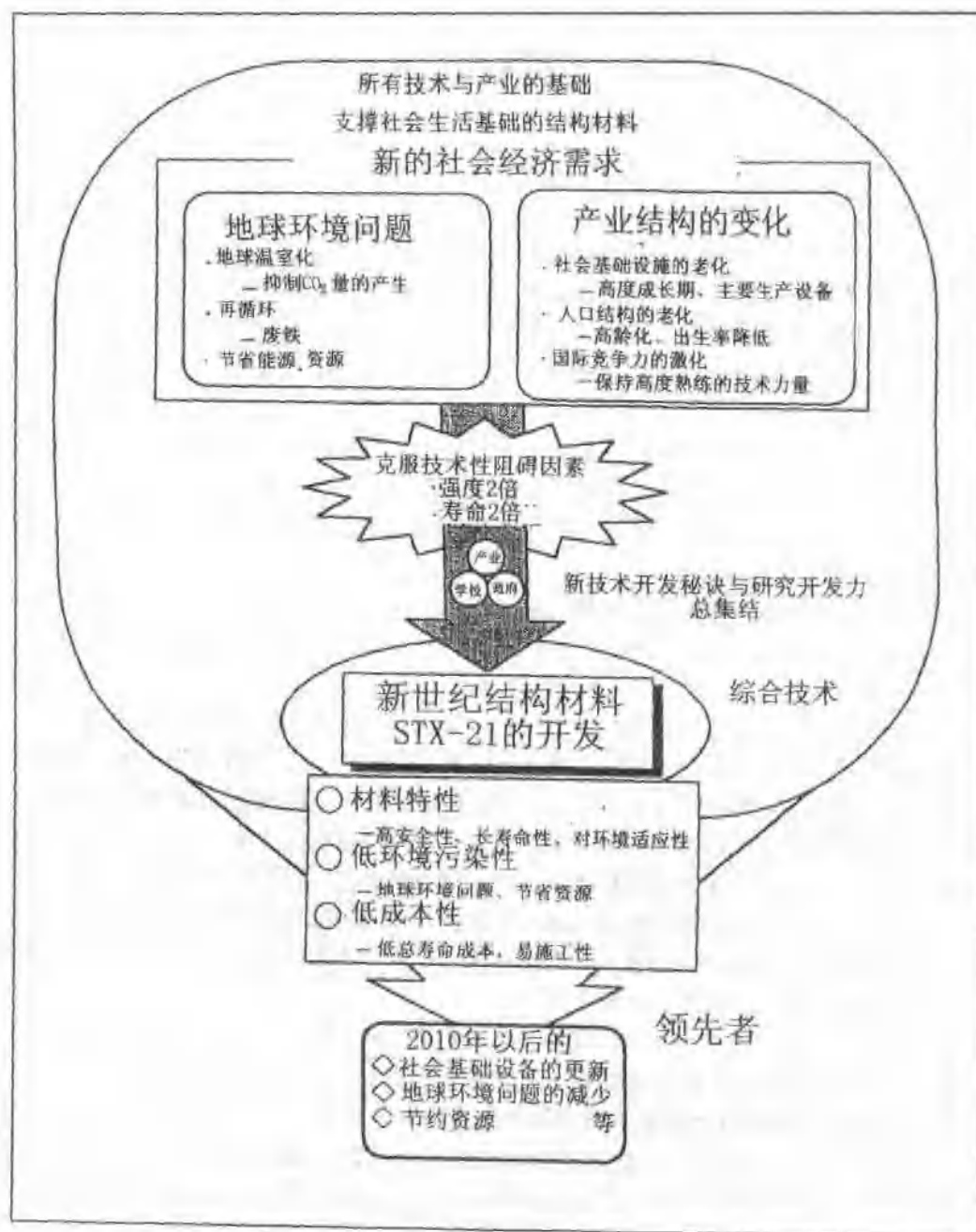
反过来说，即使是在即将到来的世纪中，能成为持续营造舒适安定社会生活的社会基础根基的除结构材料外别无其它；而且，对于这类材料，在人、社会与自然的关系中，要求其达到对环境的负担更小，更安全，使用寿命更长，在幅员更广阔的环境中能够使用，更经济等各种不断提出的要求。由过去已有的结构材料技术进行的改善并未产生出满足这些要求的材料，技术性突破的目标，必须与新世纪结构材料（STX-21）相适应。

另外，我国至今在构造材料领域居领先地位，作为国际责任被要求通报与此地位相适应的有创见性和高影响性的技术，即所谓综合技术。的确唯有此 STX-21 的开发正成为我国结构材料研究中综合技术的金字塔。

所幸，若干可成为 STX-21 实现的开端的萌芽性研究成果，即技术秘诀，我国用各种擅长的方法将这些秘诀分别积蓄于产学研。因此，为在有限的期限内切实开发出 STX-21，首先必须强有力地推进应用前的基础研究。为此，从产学研的广阔领域集结第一线研究者，将各种技术开发秘诀等有机的结合起来，谋求技术跨越的划时代的研究开展方式（螺旋物力论）和使之成为可能的相当规模的研究资源的集中性持续性投资是必不可少的。

到目前为止金属材料技术研究所积蓄了通过尖端材料研究有助于研制 STX-21 的很多技术秘诀；此外，也推进了世界一流的基础数据-材料强度数据单的完成以及对高速增殖核反应堆“文殊”的事故分析等社会需求相对应的研究活动。为了对科学技术基本

法目标的达到作出贡献，并且，作为金属材料技术方面的唯一综合性国立研究所的社会责任，本研究所在此提出了开发“STX-21”的国家综合基础研发计划以及设立推进此计划的“结构材料研究中心”。



1、结构材料研究的状况及课题

1-1. 支撑社会、生活基础的结构材料的现状与课题

结构材料支撑着社会、生活基础

结构材料的用途多种多样，作为汽车、家电产品、音响产品等支撑富裕国民生活的材料而使用于我们身边的每一处。

另一方面，超高层建筑、大桥、各种发电设备等社会基础设施，甚至在所谓大负荷、高温、低温、高压、海水中的恶劣环境下使用。

阪神大地震以及高速增殖核反应堆“文殊”的事故显示了在保障社会基础安全上改变结构材料的重要性。

新的社会、经济需求及变化

为抑制地球温室化，在 21 世纪将二氧化碳的排放量控制在现有的水平以下仍然是国际性研究目标。另外，预测显示金属废料的产生量到 2010 年会翻番，再循环问题就变得尤为重要。

特别是我国，从 2010 年前后起，在高度发展期所配备的许多社会基础设施已到了更新时期。同时，钢铁的主要生产设备也进入更新时期；下一代社会基础设施的配备成为紧急任务。

然而，年轻人远离科学、出生率降低等等，下个世纪的技术力量后继者的培养还是悬而未决的问题；老年人比重也确实增加，使人不得不为社会活力的降低而担心。

作为经济状况，在严酷的国际经济竞争中，发达工业国家毋庸置疑受到了发展中国家的追赶；从长远的观点来看，总体上动摇了我国的领先地位。

改善材料特性的社会性经济性效果极大

结构材料使用规模的大小直接关系着其改善特性效果的大小。

占结构用金属材料 95% 的钢铁其全世界的年生产量已达到 7 亿吨；日本已升至约 1 亿吨。例如，如果把汽车用钢板的强度增加 1 倍，通过减轻车重提高燃油比，试算一年能节约近 10 亿升的汽油。

另外，如果将结构件的寿命提高 1 倍，通过减少钢铁生产中必要的能源，那么与我国现有情况相比，每年能将二氧化碳的排放量削减约 2%。

尤其是中国，预测今后的钢铁需求会急速增长，估计产量会由现在的 1 亿吨的水平扩大至数亿吨以上。因而，结构材料改善特性效果的国际贡献，可以预测其潜力为日本国内的 10 倍。

适应新的社会、经济需求开发新世纪结构材料成为紧急任务

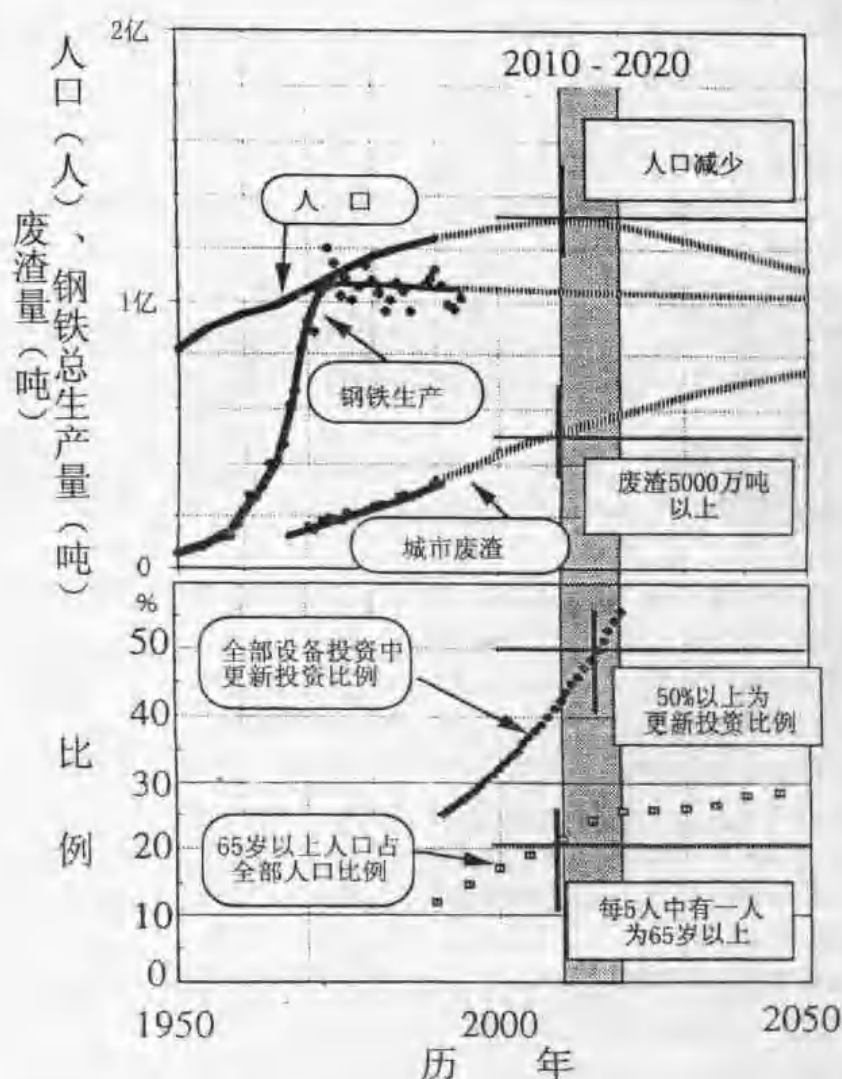
为适应新的社会需求、经济需求，除高安全性、长寿命性、环境适应性等材料特性以外，研究超技能、经济性材料在全寿命再循环中的低成本性、尤其是将它们与地球环境问题的低环境污染要求一起进行考虑，迫切需要开发全新类型的新世纪结构材料（STX-21）。这不是至今为止现有技术的增量改善的积累，而必需大的飞跃、即通过综合技术开发打破现状。

另外，如果以 2010 年代实用化为目标，留给开发的时间已不多了。

1-2. 综合技术的发布中居领先地位

与社会、经济需求相分离（大学、国立研究所等）

近年来的结构材料研究，在适应需求为主力中，产业界的实用化开发研究已成为主



流。另一方面，在大学，可以看到材料系基础科学与社会需求相分离；在国立研究所，由于材料研究的个别专业化而与社会需求不太对应等。基础研究及应用研究与社会经济需求分离的问题产生了。

研究开发有缩小的倾向

另外，现状是研究投资也分门别类，联合研究开发还未出现。在现有的研究体制中，不可能达到所追求的大的技术开发飞跃。甚至于在现在严酷的经济环境中，产业界的研究投资也在急速缩小。另一方面，培养年轻研究人员、确保研究辅助人员、技术人员等研究支援人员的绝对数量等也已成为问题。

欧美各国的产业、学校和政府的联合倾向

进入九十年代后欧美各国为了赶上日本的应用技术开发能力，通过联合产业、学校

和政府逐步建立旨在强化产业技术力量的方针政策。例如，美国通过 ATP (Advanced Technology Projects) 计划、法国通过“关键技术”计划等，针对基础研究与实用化研究的结合，国家积极支援与产业界的共同研究。

结构材料的综合技术=STX-21

开发 STX-21 的革新性综合技术是现有技术的一次重大飞跃；是我国独有的创造性技术，同时也是具有极大影响效果的技术，也可以说是综合技术之一。从而，通过 STX-21 的发布，期待着确实保障在 21 世纪的结构材料领域领先者的位置。

为在 2010 年代后期将 STX-21 实用化，首先在基础研究阶段要规定明确的期限与战略目标，通过产业学校政府的智慧与能力的总集结及其有机联合，以求得能高效率产生出成果的研究运营方式。

以国家命令的方式实行此应用、实用化阶段前的综合基础研究，国家强有力的领导是不可缺的。即，从科学技术创造立国具体化的观点出发，将 STX-21 的开发置于国家综合基础研究计划位置，以便积极推动其研究。为推进此项计划，在金属材料领域拥有很多实际业绩、并且是金属材料方面唯一国家级研究单位的金属材料研究所将作为自己的任务，履行其责任。

1-3. 我国开拓的技术领域以及新的挑战

通过不断改善引进技术而使材料性能提高一倍

我国结构材料的研究取得了世界瞩目的成果，现在其技术水平居领先地位。这是适应造船及汽车用相关材料等产品需求，以保证产品质量及提高生产为目的，积累对引进技术的改善，可以说是日本独自开拓领域的成果。其结果是多数材料性能（一般建筑用焊接钢、高强度钢丝等）比高度发展期开始时的 25 年前提高了大约 1 倍。

以积累的技术秘诀为基础在独自的综合技术开发中实现向 STX-21 的飞跃

另外，并不限于关系产品需求的成果，材料基础科学中的新知识新技术秘诀也屡屡产生。尤其是阻碍这些秘诀应用的技术障碍因素也逐渐明朗。

例如，众所周知为得到钢铁材料超强度的有效手段是将组织微细化；然而采用现有的实用工艺晶粒直径最小只达到 $10\mu\text{m}$ 左右。另一方面，在小样品中实现了 $1\mu\text{m}$ 以下的超微细组织，超强度的秘诀正在取得。

由现有技术秘诀，预测其实现，开发实现超强度结构材料的制造工艺，必须综合汇集现有技术体系，实现飞跃。因此，STX-21 的研究开发确实是基于结构材料研究开发的技术秘诀，以打破现状、实现预计目标为目的。

实用结构材料的原材强度现状与应克服的问题

开发材料	用途	强度水平		阻碍因素	应克服的课题
		实用	开发中		
建筑结构用厚板	高层建筑钢结构 桥梁 海洋结构件	60 公斤	80 公斤	粒径 $\sim 10\mu\text{m}$ 焊接裂纹	粒径 $< 1\mu\text{m}$ 消除应力集中
薄板 冷轧钢板	汽车安全部件 车轮部件	120 公斤	180 公斤	成形性 疲劳	组织控制
线材 高强度钢绳	桥梁 高速电梯	200 公斤	250 公斤	拔丝性	控制夹杂物 组织控制 加工技术

2. 开发新世纪结构材料 (STX-21) 研究的基本战略

2-1. 把 2010 年使 STX-21 实用化设定为研究开发的目标

高度成长期 (1960 年代) 所配备的我国主要基础设施群的寿命将有半个世纪 (50 年), 以 2010 年代为期限, 现距 STX-21 的实用化仅有 20 年的时间。然而把实现实用化期限 (20 年) 的一半作为基础研究时, 制定了为期 10 年的综合基础研究计划。

特别是在此期间, 从现有技术的飞跃出发, 把预测技术的发展所确立的战略目标设定如下:

结构体原材料强度提高 1 倍

	实用上限	开发阶段	计划目标
(例) 厚板 (12mm 以上)	60kg/mm ²	→ 80 kg/mm ²	→ 120 kg/mm ²
薄板	120 kg/mm ²	→ 180 kg/mm ²	→ 250 kg/mm ²
线材、棒材	200 kg/mm ²	→ 250 kg/mm ²	→ 500 kg/mm ²

(效果) • 土木、建筑、运输等领域社会基础的更新、大幅节约新事业必需的原材料量。

• 通过轻量化, 达到节能、提高抗震安全性等的目的

通过提高疲劳、抗蠕变、抗腐蚀、抗磨损等特性而使结构体寿命提高 1 倍

(例) 新干线轨道	3~4 年	→	5~10 年
桥墩	30 年	→	60 年
大型浮体结构物	20 年	→	50 (100) 年

(效果) • 大型桥梁、发电站等大型基础设施、结构物的总寿命成本大幅降低。

• 通过降低原材料用量而达到节省资源、节能、降低 CO₂ 的产生量等目标。

总寿命成本的降低

(效果) • 降低材料生产、保养等必要经费

• 通过实现保证产品可靠性的超技能化从而达到降低材料总寿命成本的目的。

降低环境污染

(效果) • 通过利用废渣来节省资源、节能、降低 CO₂ 的产生量。

• 通过综合环境污染评价, 选择低环境污染的巴士等, 由此实现降低环境污染的目的。

2-2. 结合、扶持先进的技术秘诀, 考虑向下一阶段实用化研究转移, 开展综合性基础研究

针对 STX-21 的实用化开展综合基础研究的计划

- 设置包含各有关研究开发要素的多种研究开发机能
- 环形结合各研究机能, 多层次连续促进技术秘诀深化和改进提高所研制的原材料
- 以强有力的领导力给上述环形结合的各研究开发机能以协调的推动力以及具有开拓外部情报收集机能的运营体制

设置包含有关研究开发要素的多种研究开发机能群

研究开发象 STX-21 这样的新型结构材料，不仅仅是研制原材料，还需进行结构体化包括连接和环境适应性的研究开发、进而对原材料的微观分析和结构体的宏观评价以及在此基础上研制更优良的原材料进行综合性评价，因而必须设置多种研究开发机能。

研究开发 STX-21 的研究体中应设置以下三种研究开发机能：精炼-溶炼/合成-固化/加工/热处理的一体化研究开发要素所组成的“材料研制”研究开发机能；包含将所研制的材料改进提高并为实现结构体化的连接与表面处理等研究开发要素的“结构体化”研究开发机能；以及综合实施对所研制的原材料和结构体进行评价等的“评价”研究开发机能。

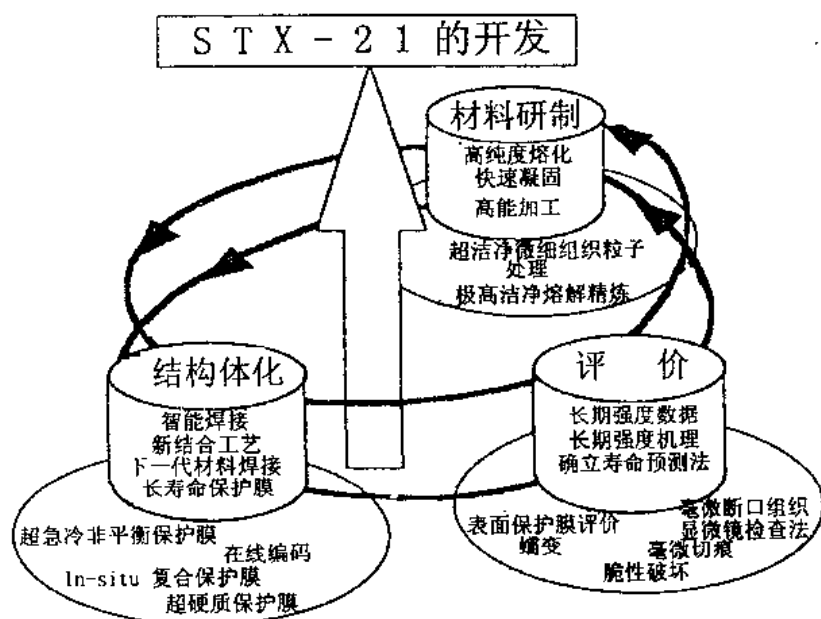
环形结合各研究机能，多层次连续促进技术秘诀深化和改进提高所研制的原材料

此研究体通过将这三项研究机能以材料研制→结构体化→评价→材料研制→…顺序环形结合，为达到战略目标就有可能循环进行必要的研究情报交换以及任务交接。特别是作为整体通过连续环形反馈（循环相互订货）使各研究开发要素技术秘诀的深化以及改进提高所研制的原材料以新的计划（螺旋物力论）为目标能多层次、连续性地进行的。

在新计划的基础之上，达到战略目标不可欠缺的是进行包含三项机能的综合基础研究（螺旋研究、多门类）。

以强有力的领导力给上述环形结合的各研究开发机能以协调的推动力以及具有开拓外部情报收集机能的运营体制

在这种研究体中，对于参与研究的人员不仅仅有优秀的专业研究能力还要求能与其他研究者进行生产交流的能力，除此之外，要求全体运营者具有特别广阔的视野以及强有力的领导能力。



此外，作为通向外部的情报收集机能的运营体制，拥有以下多层次的运营机能是极其重要的。

- 设置广泛从产业、学校、政府方面收集关于研究开发方向意见的恳谈会。

（名称，例如：社会基础材料恳谈会）

- 设置对整体研究方向进行审议、为达到战略目标对必要的事项进行研讨、有外部委员参加的委员会。

（名称，例如：中心运营委员会）

- 设置选择研究课题及后备领导，尤其是负责对研究进展状况的评价、调整，有外部委员参加的小委员会。

（名称，例如：计划调整小委员会）

- 中心运营委员会（暂称）之下，设置负责对螺旋研究每一研究进展状况检查以及年度评价等，有外部委员参加的作业集团。

（名称，例如：研究作业分科会）

2-3 为了在规定的期间内达到目标所需要的研究资源的集结与集中

- 大量技术秘诀
- 有才能的研究群体、高技能群体
- 世界第一的研究装置
- 足够的研究开发资金

(1) 技术秘诀

通过以往先导研究储备的技术秘诀的集结。

（STX-21 的代表性技术秘诀）

- 组织的超微细化技术

- 为达到目标强度实现超微细级的微细组织技术。

（例）超过冷强冷却凝固组织微细化、大变形量加工、高精度热处理等。

- 控制不纯物影响技术

为了控制焊接部位的金属组织、利用废钢铁等，控制不纯物、夹杂物，并最大限度地发挥它们有效作用的技术。

（例）非接触焊接、微粒子弥散技术等。

- 最佳接合技术

为达到高强度、高安全性、长疲劳寿命等的接合技术。

（例）为了减缓焊接应力而利用了焊接边界处理技术、超塑性、固体扩散、无定形等新的接合技术以及张力螺栓的开发等。

- 耐久表面改质技术

以无需维护、降低环境负荷为目的的表面改质技术。

（例）采用等离子喷镀和离子束形成表面皮膜、表面层改质技术等。

- 长期寿命的预测技术

以预测疲劳、蠕变、腐蚀等寿命为基本的依赖时间现象的理论研究与特性评价技术。

(例) 采用长时间数据库及其评价技术, 以及促进加速试验与高级计算材料学相结合的超长期寿命的预测技术。

• 环境负荷评价技术

将 LCA 方法应用于材料领域而且与材料性能相结合的综合评价方法的建立。

(例) MLCA、重复利用材料设计等。

(2) 研究人员、技术人员

为达到目标能交换建设性意见的有能力的人员、技术人员的集结。

(全员 150 名规模)

(3) 世界第一的研究装置

制作、配备必要的特创的研究装置。

一条龙试验设备(主线 21)的配备 世界第一的规模 and 意识

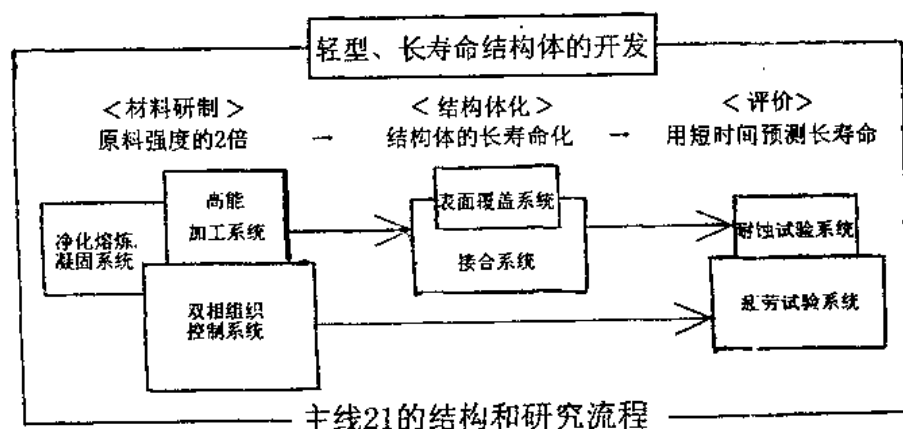
建立世界上还没有的数百公斤试样规模的材料研制—结构体化—评价的一条龙试验设备。对于 STX-21 的研究开发集结了不可缺少的试验研究设备的研究体成为结构材料研究的 COE 是很显然的。

考虑到应用化的试验设备规模 从结构体化的观点出发 500 公斤试样

对于材料的特性而言, 使用小试样(克等级)也能获得良好特性, 然而用实际尺寸(吨等级)却难以实现相同的性能。

实验室规模的结构体化研究所需要的最小限度的试样尺寸是宽度 40cm×长度数 m, 对于铁来说这就是数百公斤。实验室规模可操作的尺寸是 300 到 500 公斤。

因此, 要求主线 21 使用最大 500 公斤试样。



(4) 开发研究基金

总额约 1000 亿日元 (10 年的合计)

3-3 开发 STX-21 的主要研究课题

将各处一连串的研究开发要素有效地且有机地结合, 设置完成战略目标的研究课题